



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE *LAYOUTS* SOB A ÓTICA DOS  
INDICADORES DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES COM APOIO DE  
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM EMPRESA DE  
ALIMENTOS**

Lucas Eggers Assunção

Lajeado, novembro de 2016

Lucas Eggers Assunção

**ESTUDO COMPARATIVO DE *LAYOUTS* SOB A ÓTICA DOS  
INDICADORES DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES COM APOIO DE  
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS EM EMPRESA DE  
ALIMENTOS**

Monografia apresentada da disciplina de Trabalho de Conclusão II, no Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. William Jacobs

Lajeado, novembro de 2016

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Karin e Paulo, pelo apoio incondicional em todos os grandes projetos de minha vida.

Agradeço a minha namorada, Taína, pela compreensão nos momentos de ausência, pelo suporte e toda paciência nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu orientador e amigo Professor William Jacobs, pelo embasamento sobre o assunto de simulação, a confiança em meu trabalho e todo apoio dado ao longo do curso.

E por final, meus sinceros agradecimentos ao Professor Cristiano Guimarães Couto, pelo embasamento e a capacidade de síntese sobre os assuntos da Teoria das Restrições e *layout* que me proporcionou.

## RESUMO

O *layout* tem grande interferência nos sistemas produtivos das empresas, porém há uma grande dificuldade em prever todas as variáveis em seu rearranjo, e se ao final atenderá às metas globais da empresa. Este estudo tem como objetivo analisar, com apoio da simulação de eventos discretos, qual o arranjo físico mais adequado – celular ou funcional - a ser utilizado em um setor de misturas de uma empresa de alimentos, sob a perspectiva dos indicadores operacionais da Teoria das Restrições (TOC): ganho, investimentos e despesas operacionais. Este trabalho consiste em um estudo de caso com abordagem quantitativa, tendo como objetivo o modelo de avaliação. O trabalho foi conduzido através de modelagem computacional. Inicialmente foram identificados, por meio de curva ABC, os produtos que mais venderam em um período de 12 meses. Após foram coletados dados do processo produtivo em questão, como tempos de processamento, capacidades e recursos disponíveis. Em seguida foi realizado o projeto de *layout* através do método de planejamento computadorizado de relação de *layout* (CORELAP), para o *layout* funcional, e o método de análise de fluxo de produção (FPA), para o projeto de *layout* celular. Depois de realizada a modelagem dos dois modelos de *layout* com os dados coletados, foram rodadas as simulações e analisadas com base nos indicadores operacionais da TOC, apontando, ao final, o *layout* mais adequado. Os resultados mostraram que o *layout* funcional apresentou o melhor desempenho sob a perspectiva dos indicadores operacionais da TOC, de forma que este arranjo físico proporcionou o aumento no ganho (+12,34%), redução nos investimentos (-11,47%) e redução nas despesas operacionais (-18,71%). Conclui-se que o *layout* funcional oferece maior flexibilidade produtiva, impactando de forma positiva nos indicadores operacionais da TOC. Assim garante-se o ótimo global, e não apenas o ótimo local, podendo impulsionar a lucratividade da empresa, que segundo a Teoria das Restrições, é o seu único objetivo.

**Palavras-chave:** *Layout*. Simulação de eventos discretos. Teoria das restrições. Indicadores de desempenho.

## ABSTRACT

The layout exerts important interferences in the manufacturing systems of the companies. However is difficult to predict all variables of its rearrangement and if it will meet the overall company goals. So, this study has the aim to define, with support of discrete event simulation, the most adequate layout – cellular or functional – to be used in a food company, at the perspective of operational indicators of Theory of Constraints (TOC): gain, investments and operating expenses. This work consists of a practical case study and applied research with a quantitative approach. The work was conducted by means of computer modeling. First it was identified the products best sellers in a period of 12 months, with the ABC curve. After it were collected data of the productive process: processing times, capacities and available resources. Subsequently, the layout design was performed using the Computerized Relationship Layout Planning (CORELAP) method, for functional layout, and the production flow analysis (FPA) method, for cellular layout. After the modeling of the two layout models with the collected data, the simulations were carried out and analyzed based on the TOC operational indicators, pointing out, at the end, the most appropriate layout. The results showed that the functional layout presented the best performance at the perspective of TOC operational indicators. The physical arrangement provided an increase in the gain (+12,34%), a reduction in investments (-11,47%) and a reduction in operating expenses (-18,71%). Therefore we conclude that the functional layout offers greater productive flexibility, positively impacting the operational indicators of TOC, thus ensuring the overall optimum, and not only the local optimum. This can boost the profitability of the company, which according to Theory of Constraints is its single objective.

**Keywords:** Layout. Discrete Event Simulation. Theory Of Constraints. Performance Indicators.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de <i>layouts</i> versus flexibilidade, volume e fluxo.....	16
Figura 2 - Tipos de <i>layouts</i> versus custos e volume.....	17
Figura 3 - Representação esquemática de <i>layout</i> do tipo por produto .....	20
Figura 4 - Representação esquemática de um <i>layout</i> do tipo funcional .....	22
Figura 5 - Exemplo de matriz de relacionamento .....	25
Figura 6 - Classificação total de proximidade.....	26
Figura 7 - Comparação entre <i>layout</i> funcional e celular .....	27
Figura 8 - Etapas da análise do Fluxo de Produção.....	30
Figura 9 - Folha de processo.....	31
Figura 10 - Matriz de incidência de máquinas e peças .....	31
Figura 11 - Relação entre indicadores de desempenho da TOC .....	40
Figura 12 - Evolução dos estados na simulação de evento contínuo.....	43
Figura 13 - Evolução dos estados na simulação de evento discreto .....	43
Figura 14 - Fases de um estudo de simulação.....	44
Figura 15 - Metodologia empregada para o estudo.....	51
Figura 16 - Esquema do processo produtivo atual.....	56
Figura 17 - Formação dos departamentos produtivos .....	61
Figura 18 - Grau de relação de proximidade entre departamentos .....	62
Figura 19 - Ordenação dos departamentos por importância .....	63
Figura 20 - Representação do <i>layout</i> ideal.....	63
Figura 21 - <i>Layout</i> funcional projetado por meio do <i>software</i> CORELAP.....	64
Figura 22 - Modelo computacional do <i>layout</i> funcional .....	72
Figura 23 - Análise de recursos do <i>layout</i> funcional.....	75
Figura 24 - Modelo computacional do <i>layout</i> celular .....	76
Figura 25 - Análise de recursos do <i>layout</i> celular.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação ABC dos produtos produzidos no processo produtivo .....	59
Tabela 2 - Matriz de máquinas e produtos .....	66
Tabela 3 - Análise de grupos.....	67
Tabela 4 – Resultados estatísticos descritivos dos tempos das operações.....	69
Tabela 5 - Cálculo de produção planejada das linhas.....	70
Tabela 6 - Comparação entre a produção média e a produção simulada.....	71
Tabela 7 - Relação de equipamentos <i>versus</i> valor original de compra .....	79
Tabela 8 - Investimentos dos <i>layouts</i> atual, funcional e celular.....	80
Tabela 9 - Relação de equipamentos <i>versus</i> valor de depreciação mensal .....	81
Tabela 10 - Valor mensal de depreciação dos <i>layouts</i> atual, funcional e celular .....	81
Tabela 11 - Despesas operacionais mensais dos <i>layouts</i> atual, funcional e celular .....	82
Tabela 12 - Cálculo do indicador de despesas operacionais da TOC.....	83
Tabela 13 - Cálculo do ganho unitário do produto.....	84
Tabela 14 - Quantidade produzida nos <i>layouts</i> atual, funcional e celular .....	85
Tabela 15 - Ganho total de cada produto nos <i>layouts</i> atual, funcional e celular .....	85
Tabela 16 - Resultados dos indicadores operacionais da TOC para os <i>layouts</i> atual, funcional e celular .....	86

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Tema e Objetivos .....	10
1.2 Problema.....	11
1.3 Delimitação.....	12
1.4 Justificativa .....	12
1.5 Estrutura da monografia .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 <i>Layout</i> .....	14
2.1.1 Fatores determinantes na escolha de <i>layout</i> : volume e variedade.....	16
2.1.2 <i>Layout</i> por posição fixa ( <i>project shop</i> ).....	18
2.1.3 <i>Layout</i> por produto ( <i>flow shop</i> ).....	19
2.1.4 <i>Layout</i> funcional ( <i>job shop</i> ).....	21
2.1.4.1 Planejamento computadorizado de relação de <i>layout</i> .....	24
2.1.5 <i>Layout</i> celular .....	26
2.1.5.1 Análise de fluxo de produção.....	30
2.2 Teoria das Restrições (TOC).....	32
2.2.1 Indicadores de desempenho .....	36
2.3 Simulação de eventos discretos .....	41
2.3.1 Simulador ProModel® .....	45
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
3.1 Delineamento da pesquisa.....	48
3.2 Planejamento do método .....	50
<b>4 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAYOUTS CELULAR E FUNCIONAL.....</b>	<b>55</b>
4.1 O ambiente produtivo .....	55
4.2 Definição do <i>mix</i> de produção .....	59
4.3 Projeto de <i>layout</i> funcional .....	60
4.4 Projeto de <i>layout</i> celular .....	65
4.5 Simulação dos modelos computacionais.....	68
4.5.1 Modelagem dos dados de entrada .....	68
4.5.2 Validação do modelo computacional.....	69
4.5.3 Construção e simulação do modelo computacional do <i>layout</i> Funcional	



4.5.6	Construção e simulação do modelo computacional do <i>layout</i> celular ....	76
4.6	Comparação entre os <i>layouts</i> sob a ótica dos indicadores da TOC .....	79
4.6.1	Cálculo do indicador de Investimentos .....	79
4.6.2	Cálculo do indicador de Despesas Operacionais .....	81
4.6.3	Cálculo do indicador de Ganho .....	83
5	CONCLUSÃO .....	88
	REFERÊNCIAS .....	91

## 1 INTRODUÇÃO

A competitividade empresarial faz surgir diversas necessidades, como o aumento do número de variedades de produtos, menor tolerância quanto aos atrasos e imprecisões, redução dos custos de produção, além de um padrão de qualidade mais exigente, entre outros fatores (BLACK, 1998).

Com isso, surge a necessidade de se encontrar novas ferramentas capazes de atender a estas demandas. Um dos fatores com grande impacto na produção é o *layout*, ou arranjo físico da área produtiva. Entendendo que os *layouts* afetam muito o desempenho dos sistemas de produção, é dedicado um grande esforço para desenvolver *layouts* que atendam as prioridades competitivas conforme o plano de negócios.

Na primeira etapa da revolução industrial, foram criadas e desenvolvidas diversas máquinas para a manufatura de produtos. Estas fábricas direcionaram seus recursos (mão de obra, materiais, máquinas) para locais em que havia energia disponível. Como por exemplo, o uso de moinhos (energia hídrica), onde as instalações deveriam ser próximas de rios e riachos. Assim, o arranjo físico das fábricas era ordenado conforme a disposição dos recursos energéticos. Na segunda etapa da revolução industrial, com o advento de máquinas movidas a vapor e, posteriormente, por energia elétrica, aumentou a flexibilidade do sistema de produção, permitindo diversos arranjos dos recursos transformadores (BLACK, 1998).

O início do estudo do arranjo físico no processo de manufatura ocorreu de maneira intuitiva, mas ao longo do século XX as novas exigências de mercado demandaram maior preocupação com a distribuição e arranjo dos espaços de trabalho, de modo que o *layout* tomou uma função essencial no processo produtivo (NEUMANN e SCALICE, 2015).

Só a utilização de conhecimento tácito e a falta de aplicação de procedimentos formais de análise, resultam em fluxos confusos e geram grandes oportunidades para melhorias e otimização do fluxo de processos.

Por tanto, um bom projeto de *layout* pode tanto eliminar atividades que não agregam valor como melhorar atividades que agregam. Assim, o planejamento de arranjo físico pode tanto ser de nível estratégico, quando há estudo de grandes mudanças, novas fábricas e grandes ampliações, como de nível tático, quando as mudanças não são tão representativas (PEINADO e GRAEML, 2007).

## **1.1 Tema e Objetivos**

Assim, considerando a importância da escolha de um *layout*, o presente estudo tem como tema a análise comparativa dos arranjos físicos por processo e celular por meio da simulação de eventos discretos, sob a ótica dos indicadores operacionais da teoria das restrições, em empresa do ramo alimentício.

Seu objetivo é avaliar, qual o arranjo físico mais adequado – celular ou funcional – com apoio da simulação de eventos discretos, a ser utilizado em uma empresa de alimentos sob a ótica dos indicadores operacionais da Teoria das Restrições (TOC): ganho, investimentos e despesas operacionais.

Para isso, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar pesquisa na literatura sobre os diferentes tipos de *layout* e a forma de implementá-los, sobre a TOC e seus indicadores de desempenho e sobre a simulação de eventos discretos;

- Realizar um mapeamento dos processos e atividades do setor de misturas;
- Projetar os tipos de *layout* em simulador de eventos discretos;
- Comparar os resultados das simulações dos arranjos produtivos entre si, e o melhor *layout* com o *layout* atual, com base nos indicadores operacionais da TOC;
- Estudar a potencialidade dos indicadores operacionais de desempenho da TOC – ganho, investimentos e despesa operacional – na tomada de decisão visando à escolha do melhor *layout*.

## 1.2 Problema

A alta exigência de personalização dos produtos demandado pelo atual mercado exige das organizações uma alta flexibilidade em seus processos produtivos sem perder sua competitividade, ou seja, perda da capacidade produtiva, aumento dos custos de produção, aumento dos estoques intermediário e final, e perda na qualidade do produto final.

Portanto, com os argumentos apresentados, a busca pela flexibilidade produtiva, assim como o baixo custo de produção, constituem-se como sendo necessidades básicas da organização e a melhoria destes processos possivelmente afetará de forma positiva e substancial a competitividade da organização como um todo. Assim, busca-se analisar qual dos *layouts* descritos no tema desta monografia apresentarão os melhores resultados, respondendo a seguinte pergunta: qual *layout* apresenta os melhores resultados sob a ótica dos indicadores operacionais de desempenho da teoria das restrições?

### 1.3 Delimitação

O estudo foi realizado em uma empresa de alimentos, localizada na região do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul. A empresa atua no ramo de alimentos atendendo a indústrias nacionais e de outros 46 países dos cinco continentes.

O desenvolvimento deste estudo ficará limitado apenas à linha de misturas, que produz maior variedade de produtos, refletindo diretamente na ocupação da capacidade produtiva, no estoque em processo e no custo operacional. Para a empresa o atendimento na demanda é um ponto crítico da estratégia do negócio, sendo que possui a política de máxima agilidade na entrega aos clientes. A amplitude do estudo envolverá os dados extraídos de janeiro de 2015 até julho de 2016, focando no setor de misturas da empresa.

### 1.4 Justificativa

As diversas demandas de um mercado, cada vez mais competitivo, promovem as empresas buscarem mais flexibilidade e baixo custo de produção. Considerando que o *layout* tem direta interferência no melhor aproveitamento dos recursos, influencia na melhora do ambiente físico, na gestão eficiente de todo o processo produtivo e interfere em áreas que vão desde a programação da produção até os sistemas de garantia da qualidade (SANTOS, GOHR e URIO, 2014). Nota-se que as diversas atribuições que o *layout* tem no processo produtivo, são de grande importância para atender as diversas demandas do mercado.

Porém, para rearranjar ou projetar o *layout* de uma empresa, existem duas dificuldades principais que são: o alto investimento que se faz necessário e a dificuldade na etapa de planejamento, de prever todas as variáveis do processo. Uma das formas de planejar um novo *layout*, com maior previsibilidade e menores custos, é a simulação computacional, a qual consegue envolver todas as variáveis e restrições, além de poder conduzir experimentos sem a necessidade de interromper os sistemas reais.

Uma das questões relevantes sobre alteração de *layout* é como mensurar se as alternativas propostas estão alinhadas à sua meta global. Para isto foi escolhido utilizar os indicadores de desempenho da teoria das restrições que permitem avaliar se as ações locais empreendidas estão alinhadas aos objetivos maiores da organização.

A preferência por estudar essa linha é fundamentada na recente redução de dois turnos e, por conseguinte, em 20 postos de trabalho, sem a perda de capacidade do setor. Esta mudança ocorreu como resultado de um trabalho realizado em 2015, através da aplicação do método de Gestão no Posto de Trabalho (ASSUNPÇÃO, 2015). Após estas alterações, observou-se uma maior dificuldade em realizar novas melhorias no desempenho produtivo do setor. Assim, mostrou-se interessante o estudo de *layout* como uma opção na busca do aprimoramento competitivo da linha.

## **1.5 Estrutura da monografia**

Esta monografia está estruturada em cinco capítulos.

No Capítulo 1 é apresentada uma introdução com a proposta do estudo, no qual tratou de expor os motivos da realização do trabalho através das considerações iniciais. Também são abordados o problema, o tema, os objetivos e as delimitações.

No Capítulo 2 são tratados os temas que serviram como fundamentação teórica do estudo, explanando sobre os diferentes tipos de *layout* e suas formas de implementação, a simulação de eventos discretos e sua metodologia segundo Pereira e Chwif (2010) e a teoria das restrições, seus conceitos e seus indicadores de desempenho.

No Capítulo 3 está descrita a metodologia, onde está apresentada passo a passo o método proposto para a realização deste estudo, que consiste em uma forma de análise de decisão para a escolha do melhor *layout* para uma empresa alimentícia. No Capítulo 4 está descrita a forma que o método proposto foi aplicado, apresentando os resultados de cada etapa em conjunto com a sua discussão. No Capítulo 5 encerra-se o trabalho com uma reflexão sobre o estudo realizado, considerando suas consequências.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo visa revisar os conceitos empregados para a compreensão deste estudo. Dessa forma, os próximos subcapítulos abordam as características dos diferentes tipos de *layout* e suas metodologias de implementação, a simulação de eventos discretos e sua metodologia, assim como teoria das restrições e seus indicadores de desempenho.

### 2.1 *Layout*

Para Slack, Chambers e Johnston (2009), o *layout* ou arranjo físico consiste na configuração em que estão distribuídos os recursos transformadores - onde estão todas as instalações, equipamentos, pessoal de operação e máquinas. Por conseguinte, também consiste na maneira como os recursos transformados fluem pela operação. Assim, pequenas mudanças no *layout*, como a localização de uma máquina, podem ter consequências sobre o fluxo.

Considerando a importância do *layout* para que as indústrias funcionem de maneira eficiente, deve-se projetar adequadamente o arranjo físico e constantemente revisar este projeto, permitindo a otimização do fluxo de pessoas, materiais e equipamentos através do sistema. O planejamento de *layout* tem como principal objetivo a minimização dos custos de processamento, desta forma evitando desperdícios, tanto de tempo como de materiais, e a máxima utilização do processo produtivo (GAITHER; FRAZIER, 2002). A correta decisão do arranjo físico é

importante para não gerar resultados insatisfatórios, como perdas na produção, alto *lead time* e custos elevados (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Além de abranger prioridades estratégicas para a competitividade, qualidade e capacidade produtiva dos processos (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

Para Slack, Chambers e Johnston (2009), o que faz um bom planejamento de arranjo físico em uma empresa é o alinhamento dos objetivos estratégicos da empresa com o *layout* mais adequado, mas é importante levar em conta objetivos gerais que são relevantes a todos os arranjos físicos:

- Segurança inerente; todos os processos que apresentam perigo, tanto para os funcionários como para os clientes, necessitam acesso restrito para pessoal autorizado, áreas de circulação sinalizadas e desimpedidas. Além disso, as saídas de emergência devem claramente sinalizadas e com acesso livre.
- Extensão do fluxo; o fluxo de materiais, clientes e informações devem ser canalizados permitindo o atendimento do objetivo estratégico da operação. O que pode resultar, na maioria das vezes, em redução de distâncias dos recursos transformados.
- Clareza do fluxo; todo o fluxo deve estar claramente sinalizado através da utilização de rotas, como por exemplo, linhas pintadas no chão indicando a rota a ser seguida para determinada operação.
- Conforto para o funcionário; o arranjo físico deve oferecer sempre que possível um ambiente de trabalho menos insalubre ao funcionário.
- Coordenação gerencial; o acompanhamento e a comunicação dos funcionários devem ser facilitados.
- Acessibilidade; todas as máquinas e equipamentos devem ter fácil acesso para a manutenção adequada.
- Uso do espaço; deve haver um adequado aproveitamento do espaço disponível, incluindo a altura, assim como a área do chão.
- Flexibilidade de longo prazo; o arranjo físico deve ser passível de alterações, conforme novas exigências. Por exemplo, se a demanda de determinado produto aumentar, será possível atender a tal mudança?

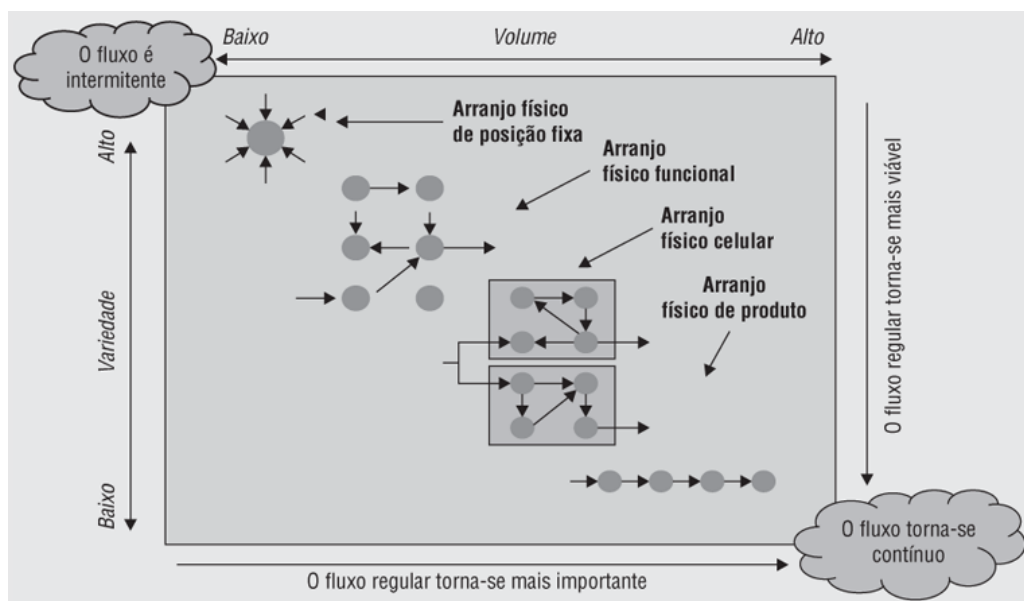


Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) citam três tipos básicos de *layout*, sendo eles: de posição fixa ou *project shop*; por produto, linha ou *flow shop*; e por processo, funcional ou *job shop*. Para Black (1998), existe ainda o *layout* em célula, que é obtido com a composição dos *layouts* funcional e por produto. Antes de apresentar os diferentes tipos, é importante abordar sobre alguns fatores que devem ser considerados na escolha do *layout*.

### 2.1.1 Fatores determinantes na escolha de *layout*: volume e variedade

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), as características de volume e variedade de uma operação vão reduzir a escolha a uma ou duas opções de arranjo físico. Assim, a escolha sobre qual *layout* deve ser empregado é influenciada por um entendimento das vantagens e desvantagens de cada um. A partir da observação da Figura 1 pode-se perceber que cada *layout* tem características diferentes quanto à capacidade produtiva, flexibilidade e fluidez do fluxo.

Figura 1 - Tipos de *layouts* versus flexibilidade, volume e fluxo

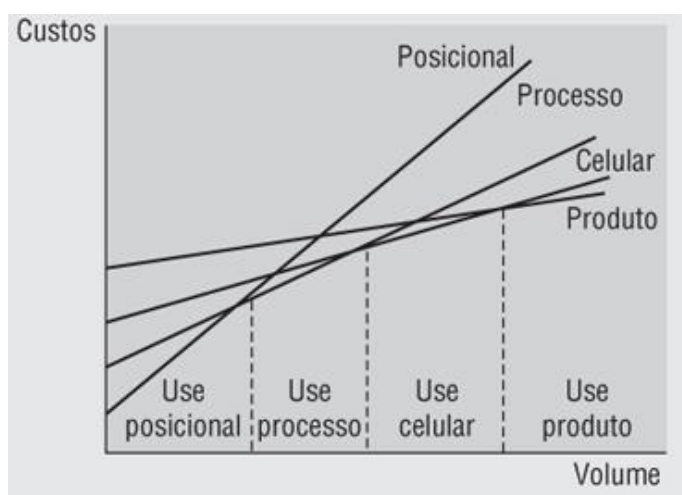


Fonte: SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009, p. 192.

Entre todas as características dos vários tipos de *layout*, a mais significativa é o efeito dos custos unitários do produto de acordo com a escolha do arranjo físico. Entendendo que há distinção nos custos fixos e variáveis de acordo com o *layout*

adotado, nota-se que o custo fixo em um arranjo físico de posição fixa é relativamente baixo em relação a qualquer outro tipo de *layout*. Porém, os custos variáveis tendem a serem maiores. Deste modo, os custos fixos tendem a aumentar à medida que se muda do arranjo físico posicional para os arranjos funcional, celular e para o arranjo em linha. Nestes *layouts* os custos variáveis tendem a decrescer (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009). Contudo, os custos totais são definidos pelo volume produzido. Isto implica que, de acordo com cada volume, haveria um arranjo físico de custo mínimo. Na Figura 2 pode-se ver esta relação de custo total e volume e o tipo de *layout* mais adequado.

Figura 2 - Tipos de *layouts* versus custos e volume



Fonte: SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009, p. 194.

Entendendo que o volume e a variedade de produtos são duas variáveis importantes e tem impacto direto na escolha do *layout* ideal (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009), é necessário o entendimento e a definição do *mix*, com base nos produtos de maior demanda, a ser considerado, assim facilitando a visualização do cenário real da empresa.

Quando se começa a considerar que determinados itens de venda têm demanda maior que outros, passa a ser interessante pensar em formas de classificação desses itens por algum critério de importância, de forma a considerar quais são os itens que merecem maior atenção.

Para tal, pode-se utilizar a classificação ABC, que é um método que categoriza os itens por ordem de importância, de forma que os principais itens recebem maior atenção para a gestão (CARVALHO, 2002). O método de classificação ABC consiste em categorizar materiais, matérias primas ou produtos em três grupos, de acordo com o critério escolhido, classificando os grupos da seguinte forma (VOLLMANN et al., 2006):

- Categoria A: são os itens que possuem maior importância, de valor ou quantidade, e representam 20% do valor total do critério definido;
- Categoria B: com importância, de valor ou quantidade intermediária e correspondem a 30% do valor total do critério definido;
- Categoria C: de menor importância, de valor ou quantidade, correspondendo a 50% do valor total do critério definido.

Em uma organização, a curva ABC é muito utilizada para a administração de estoques, que habitualmente utiliza o valor monetário dos itens como critério de importância. No entanto, também é aplicada para a definição de políticas de vendas, para o estabelecimento de prioridades, para a programação de produção, entre outros. Assim, a definição do critério que melhor se enquadre no objetivo da análise, fica a escolha do gestor (CORRÊA e CORRÊA, 2006).

Definindo a variedade e o volume é necessário entender as particularidades de cada tipo de *layout* e assim reduzir as opções para os que melhor atendem as características produtivas e competitivas desejadas.

### **2.1.2 Layout por posição fixa (*project shop*)**

O arranjo físico de posição fixa caracteriza-se pelos recursos transformados não se moverem entre os recursos transformadores, ou seja, quem sofre o processamento fica imóvel, enquanto equipamentos, pessoas e instalações movimentam-se. A razão disto é que normalmente o produto ou projeto seja muito

grande para ser movido. (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; LAUGENI; MARTINS, 2015; CORRÊA; CORRÊA, 2006).

O *layout* por posição fixa é recomendado para produto único, em quantidade pequena ou unitária. É o caso da fabricação de grandes transformadores elétricos, turbinas, navios, pontes rolantes, grandes prensas, rodovias e outros itens de grandes dimensões físicas (LAUGENI; MARTINS, 2015).

São exemplos deste *layout*:

- Construção civil, devido ser praticamente impossível fazer um edifício mover-se entre as etapas de um processo produtivo;
- Estaleiros, de forma que o produto é muito grande para ser movido;
- Aviões de grande porte;
- Restaurantes de alta classe, onde o cliente fica sentado e os recursos vão até ele;
- Cirurgia de coração, de forma que os pacientes estão muito frágeis para serem removidos.

Segundo Laugeni e Martins (2015), este arranjo físico tem eficiência baixa, porém possibilita um grau máximo de customização, sendo estes dedicados a produtos únicos e em pequenas quantidades.

### **2.1.3 Layout por produto (*flow shop*)**

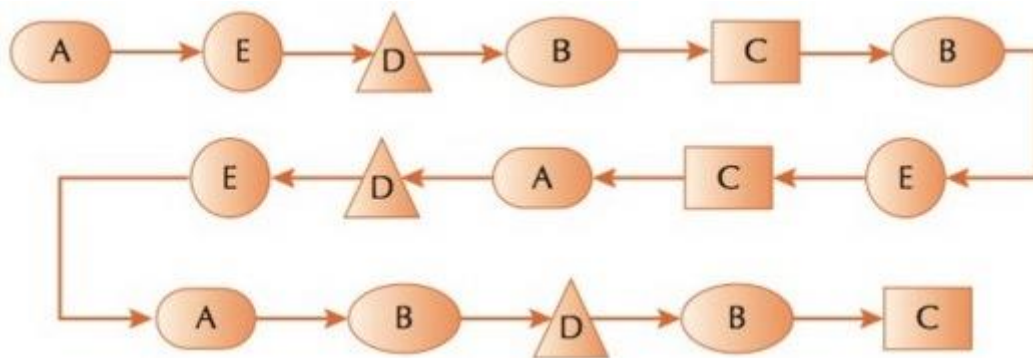
O arranjo físico por produto consiste em dispor os recursos transformadores na sequência em que o produto é produzido. Assim, cada produto passa por uma sequência necessária de operações que realizam a manufatura do mesmo (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

O *layout* por produto é caracterizado por produção de grandes lotes, máquinas para fins específicos, baixo *mix* de produção e alta mecanização. Os *layouts* podem ser contínuos ou interrompidos. Os contínuos produzem o mesmo item de alta complexidade e grande quantidade. Exemplo são as montadoras de

carros - estas linhas produzem grandes quantidades, mas quando há necessidade de produção de outro produto, elas são mudadas, podendo levar horas ou até dias (BLACK, 1998). Apesar de grande parte dos *layouts* por produto assumirem um desenho em linha reta, esta nem sempre é a melhor opção e os *layouts* podem assumir desenhos em L, S, O ou U (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

A Figura 3 ilustra um *layout* por produto no qual o produto segue o fluxo das etapas necessárias para sua manufatura.

Figura 3 - Representação esquemática de *layout* do tipo por produto



Fonte: LAUGENI e MARTINS, 2015, p. 148.

São exemplos de arranjo físico por produto:

- Restaurante *self-service*. Normalmente a sequência de serviços atende a demanda do cliente (entrada, prato principal, sobremesa, bebidas), de maneira que o arranjo físico ajuda a manter o fluxo dos clientes organizado;
- Montagem de automóveis. Quase todos os produtos requerem a mesma sequência de processos;
- Programa de vacinação em massa. Todos os clientes requerem os mesmos processos: atividades burocráticas, médicas e de aconselhamento.

O fluxo de informações, produtos ou clientes é muito claro e previsível no arranjo físico por produto, o que caracteriza a facilidade de controle. A uniformidade das características dos produtos leva a escolha deste tipo de *layout* (SLACK;

CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Black (1998) complementa que o nível de habilidade necessário é baixo, devido à transferência da complexidade operacional do operador para as máquinas. Outras características deste arranjo, em caso de alta demanda, o *layout* em linha apresenta *lead time* menor, estoques em processo baixo, sem fila entre processos e menor tempo perdido com *setups* (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

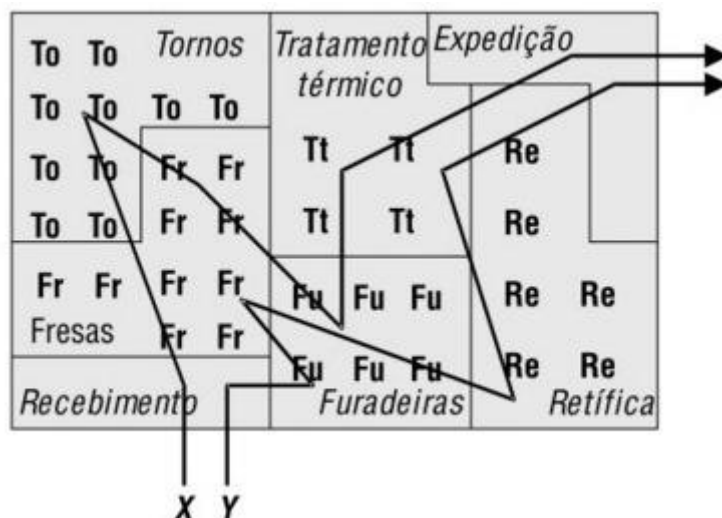
No entanto, este tipo de *layout* demanda grande investimento em máquinas e ferramentas, as quais podem ter taxas de produção muito altas, sendo necessário existir uma máquina de cada tipo, às vezes máquinas em dobro para o balanceamento da linha (BLACK, 1998). O desafio do *layout* por produto é organizar as atividades em grupos de trabalho que atendam a taxa exigida de produção com a menor quantidade de recursos possível (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009).

#### **2.1.4 *Layout* funcional (*job shop*)**

O sistema de *layout* funcional dispõe os equipamentos em agrupamentos por função, por exemplo: todas as fresadoras juntas, todos os tornos etc. Isso faz com que todos os recursos transformados sejam encaminhados em pequenos lotes para cada agrupamento de máquinas, gerando alto nível de estoque no processo (BLACK, 1998). Os produtos percorrem o trajeto pelos grupos de máquinas que lhe são necessários para a sua transformação. Diferentes produtos percorrem roteiros diferentes porque necessitam de grupos de máquinas distintas. Isso provoca um fluxo de operações complexo de ser gerenciado (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

A Figura 4 ilustra o esquema de um *layout* funcional, no qual dois diferentes produtos - produtos X e Y - percorrem os departamentos de uma empresa conforme sua necessidade de manufatura.

Figura 4 - Representação esquemática de um *layout* do tipo funcional



Fonte: CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2002, p. 401.

Pode-se ver na Figura 4 que tanto o recurso transformado X como o Y, seguem pelo processo produtivo de forma que seus fluxos vão e voltam por dentro dos departamentos, percorrendo grandes distâncias e se mostrando confuso.

Segundo Peinado e Graeml (2007), este tipo de arranjo é frequentemente usado em:

- Indústria de transformação; utilizado amplamente em serviços de confecção de moldes e ferramentas, geralmente empresas deste ramo utilizam o *layout* funcional. Agrupando suas operações e equipamentos em departamento de usinagem, fresadora, retífica, furadeiras, pintura etc.
- Hospitais; geralmente seus processos são arranjados em grupos por tipo de função. Há a pediatria, o centro cirúrgico, o setor de raio x, o pronto socorro etc.
- Lojas comerciais; os produtos são divididos em departamentos, setor masculino, feminino, infantil, calçados, artigos de cama, mesa, banho etc.

Normalmente o arranjo físico funcional é adotado para atendimento das necessidades do mercado quando há produtos diversificados. No entanto, as

principais características deste *layout* - isto é, baixa capacidade produtiva, variedade de produtos alta - pode trazer diversas dificuldades no fluxo de materiais em processo (LI, 2005).

O arranjo físico funcional é flexível em termos de variedade de produtos, devido à localização das máquinas não dependerem de requisitos dos produtos. Máquinas e outros recursos são agrupados de acordo com a natureza do processo, e os produtos fluem livremente de recurso a recurso, conforme necessário. Outra principal vantagem deste arranjo físico é o elevado grau de especialização dos trabalhadores e supervisores do processo produtivo, maior facilidade de manter a produção ininterrupta por fatores de ausência de funcionário ou quebra de máquina e a facilidade na supervisão de áreas (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Apesar de ser excelente na produção de uma grande variedade de produtos, o *layout* funcional tem produtividade relativamente baixa, alto estoque em processo e elevado tempo de produção (DINIS-CARVALHO; ALVES; SOUSA, 2014). Neumann e Scalice (2015) complementam que este arranjo físico tem maior incidência de *setups*, maior complexidade no fluxo de materiais em relação aos demais *layouts*, o que torna o seu controle mais difícil e a necessidade de maior espaço físico e capital para a alta quantidade de estoque em processo.

Mesmo que a experiência, intuição e a criatividade sejam fatores importantes no planejamento de arranjo físico, é imprescindível para o projeto de *layout* aplicação de meios racionais, facilitado pelas abordagens sistemáticas (SANTOS; GOHR; URIO, 2014; SILVA et al., 2015). Uma das técnicas utilizadas para o planejamento do *layout* funcional é o Planejamento Sistemático de *Layout* ou *Systematic Layout Planning* (SLP), que é amplamente usado e foi desenvolvido por Muther nos anos 50 (MUTHER; WHEELER, 2000). Esta técnica usa um sistema de taxas de relacionamento e visa arranjar os departamentos baseando-se na inter-relação departamental (URBAN, 1989).

O SLP desenvolve-se em etapas, que são: (i) análise de fluxos de produtos ou recursos; (ii) identificação e inclusão de fatores qualitativos; (iii) avaliação dos dados e arranjo de áreas de trabalho; (iv) determinação de um plano de arranjo dos



espaços; e (v) ajuste do arranjo no espaço disponível (CORRÊA e CORRÊA, 2006). Então, no SLP quantifica-se a avaliação de *layouts* alternativos, categorizando por peso de importância para as preferências de proximidade e posterior experimentação com configurações diferentes de arranjo físico (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2006; GAITHER e FRAZIER, 2002).

Contudo, a partir dos anos 70 vários *softwares* foram criados para o desenvolvimento de *layout* funcional. Entre eles, o mais amplamente usado é a Técnica Computadorizada para Alocação Relativa de Instalações, ou, do inglês, como é habitualmente citado, *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT). Para a utilização do CRAFT é necessário: a inserção do *layout* de blocos inicial; o mapeamento de uma matriz de carga, ou seja, quais são os volumes transportados; uma matriz de distância, quais são as distâncias que os volumes são transportados; e o custo por unidade de distância percorrida. Com estes dados o CRAFT busca, com a minimização dos custos de transporte, a melhor localização relativa entre os departamentos. (GAITHER e FRAZIER, 2002; CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2006; MOREIRA, 2008).

No entanto, este *software* tem suas restrições, como por exemplo: o CRAFT está limitado a trabalhar com no máximo 40 departamentos e dificilmente excede 10 repetições até chegar na solução. Outra desvantagem é que o CRAFT, quando há a existência de equipamentos de transporte fixo, como esteiras, a aplicabilidade do CRAFT se torna reduzida (CHASE, JACOBS e AQUILANO, 2006; MOREIRA 2008).

#### **2.1.4.1 Planejamento computadorizado de relação de *layout***

Outros *softwares* para auxílio ao planejamento do *layout* funcional são os programas automatizados de projeto de *layouts*, também conhecidos como *Automated Layout Design Program* (ALDEP), e o planejamento computadorizado de relação de *layout*, conhecido por *Computerized Relationship Layout Planning* (CORELAP), que usam essencialmente os mesmos procedimentos e a mesma lógica. Estes programas classificam o grau de importância na proximidade entre os

departamentos, assim, medindo quão necessário é a proximidade entre eles (GAITHER e FRAZIER, 2002; MOREIRA, 2008).

No CORELAP, são estabelecidos os departamentos no primeiro passo. Na sequência é solicitada a entrada dos dados do “gráfico de relacionamento”. Este gráfico estabelece o nível de prioridade de proximidade para cada par de departamentos, indicando a conveniência ou inconveniência de proximidade entre eles. O gráfico tem forma de uma matriz para a avaliação para cada par de departamentos, inserido no ponto em que suas colunas se cruzam. A avaliação é realizada por meio de uma classificação por um esquema de ponderação linear. São seis níveis de proximidade, sendo elas representadas por letras do alfabeto. Em ordem decrescente de grau de proximidade, sendo elas: A para 6, E para 5, I para 4, O para 3, U para 2 e X para 1 (DELON, 1970). Assim, como pode ser visto no exemplo da Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de matriz de relacionamento

Almoxarifado	E						
Forja		I					
Usinagem		A	U				
Esmirilhamento			O	U	X		
Tratamento térmico			U	O	O	U	
Pintura				O	I		
Soldagem				X	U		

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A Figura 5 demonstra a relação de proximidade entre os departamentos de uma indústria metal mecânica, de forma que o departamento do almoxarifado não pode ficar próximo do departamento de pintura segundo a classificação ali apresentada. Porém, o departamento de forja tem uma alta classificação de proximidade com o departamento de usinagem.

Na etapa seguinte, o *software* calcula a classificação total de proximidade (*total closeness rating* – TCR) que define o grau de proximidade entre os departamentos, conforme exemplo mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Classificação total de proximidade

Orden	Nombre	TCR
1.-	Forja	22
2.-	Usinagem	21
3.-	Almoxarifado	16
4.-	Esmirilhamento	15
5.-	Pintura	14
6.-	Soldagem	13
7.-	Trat. térmico	13

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O departamento que tiver a maior classificação, no caso de exemplo da Figura 6 é a forja, é colocado no centro. Já o departamento que tiver maior classificação em relação à forja, é colocado ao lado dele, e assim segue para os demais departamentos (MULUGETA, BESHAN, KITAW, 2013).

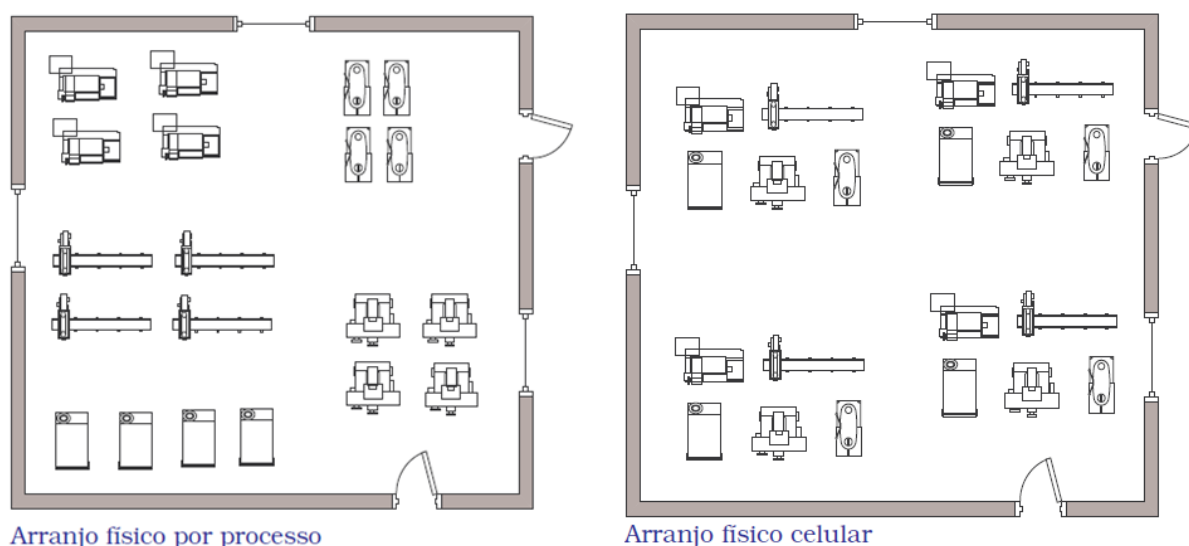
Este método tem uma abordagem determinística que proporciona uma solução única. Se executado o programa pela segunda vez, com os mesmos dados, o resultado será o mesmo (KHAN, TIDKE, 2013).

### 2.1.5 Layout celular

O *layout* celular consiste no agrupamento de máquinas que atendem parcial ou completamente as demandas de um determinado grupo de produtos, os quais necessitam dos mesmos recursos. Os produtos são aglutinados conforme necessidade de máquinas para sua produção, sendo chamados de famílias de produtos. Já as máquinas são agrupadas e preparadas para atender aquela família (BURBIDGE, 1981; WEMMERLÖV; JOHNSON, 1997; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Para um melhor entendimento, a Figura 7 ilustra lado a lado um *layout* funcional e um *layout* celular, ressaltando a diferença no agrupamento dos equipamentos.

Figura 7 - Comparação entre *layout* funcional e celular



Fonte: PEINADO e GRAEML, 2007, p. 225.

A partir da figura é possível observar que no *layout* funcional as máquinas estão agrupadas por tipo, já no *layout* celular estão distribuídas possibilitando a produção do início ao fim de uma determinada família de produtos. Este *layout* tem semelhanças com o arranjo físico por produto, mas é projetado para ser mais flexível. Em geral, as células são formadas em U, permitindo a multifuncionalidade dos operadores, provocando o trabalhador a movimentar-se entre as operações e equipamentos. Normalmente as máquinas são de ciclo único e automático (BLACK, 1998).

O arranjo físico celular tem maior flexibilidade quanto ao tamanho dos lotes de produção, já que quando as células atendem a determinada família de produtos os tempos de *setup* unitários tendem a diminuir, possibilitando assim a redução do tamanho dos lotes de produção (PREINADO e GRAEML, 2007).

Chase, Jacobs e Aquilano (2006) também mencionam uma melhor relação humana neste arranjo físico, de modo que os trabalhadores formam pequenas equipes de trabalho para a produção completa do produto. Assim, obtém-se maior

habilidade dos operadores, de maneira que os funcionários visualizam a produção do início ao fim. Há uma menor quantidade de estoques em processo assim como a redução nos tempos de *setup*, considerando a menor diferença entre os produtos produzidos o que significam menos mudanças nas configurações da linha. Gaither e Frazier (2002) colocam a questão da facilidade na mudança de equipamentos da célula, os períodos de treinamento dos trabalhadores são reduzidos, o custo de manuseio de materiais é reduzido, o tempo de produção é menor e sua produção tem maior facilidade de automatização.

Sheridan (1999) *apud* Chase, Jacobs e Aquilano (2006) descreve as impressões vistas no *layout* celular na fábrica da Dell Computers, onde se apresenta um alto nível de flexibilidade, instruídos por ações de trabalho *online*. O gerente sênior de controle de produção relata que antes, com o *layout* em linha, basicamente se produzia o mesmo tipo de produto ao longo de todo o dia. Já com o *layout* celular é possível produzir uma máquina de ponta seguida de uma máquina básica sem dificuldades. Esta flexibilidade proporciona a redução do tempo de entrega dos pedidos.

Segundo o estudo de caso de Molleman, Slomp e Rolefes (2002), a reestruturação do *layout* para o arranjo celular apresentou significantes melhorias já na fase inicial da implementação. No caso abordado houve economia na contratação de mais 28 funcionários para atender um aumento de demanda, isto através da delegação de qualidade e tarefas logísticas para os operadores das células e fusão dos departamentos. Houve também redução substancial do tempo de produção, de nove e meia para apenas duas semanas, além de uma redução na taxa de reclamação de clientes, que diminuiu de 3,5% para 3,2%. Uma vez que os prazos de entrega de fabricação foram diminuídos, o período entre o trabalho e retrabalho, foi reduzido. As primeiras avaliações do arranjo físico celular indicaram que esse *feedback* mais curto motivou os trabalhadores para fazer o trabalho com mais cuidado. Além disso, os operadores declararam ter mais conhecimento integrado sobre a produção e os tipos de peças. Porém, o estudo de caso indica certa fragilidade no arranjo físico celular quanto a alterações de mercado, enquanto que *layouts* funcionais são menos sensíveis a tais mudanças.

Para o planejamento de *layout* celular é amplamente utilizada a Tecnologia de Grupo (TG). A TG agrupa os produtos com características similares em “famílias” e indica grupos de máquinas para a produção desses itens. As famílias podem ser definidas por forma, tamanho ou demanda. O objetivo, dentre outros, consiste em identificar um grupo de produtos que minimize a necessidade de preparações de máquinas (CORRÊA; CORRÊA, 2006; RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004; GAITHER; FRAZIER, 2002; BLACK, 1998; GROOVER, 2001).

Para a realização da TG há diversas abordagens possíveis na análise de agrupamentos. Uma abordagem para a TG é a análise de *rank order clustering*, que é composta de muitas técnicas diferentes para o reconhecimento de estrutura em um conjunto de dados complexa. O principal objetivo desta ferramenta estatística é identificar os grupos de objetos, entidades ou os seus atributos em agrupamentos tais que elementos individuais dentro de um *cluster* têm um alto grau de "associação natural" entre si e que há muito pouca “associação natural” entre os *clusters*. Procedimentos de *clustering* podem ser classificados como: 1) técnicas de agrupamento baseados em *array* 2) técnicas de agrupamento hierárquico e 3) técnicas de agrupamento não hierárquicas (SELIM; ASKIN; VAKHARIA, 1998).

Já Elmaraghy e Gu (1988) apresentaram uma abordagem para o uso de um sistema de modelagem de inteligência artificial, baseado na identificação de atributos dos produtos e assim distinguir as famílias para as células de fabricação mais adequadas. O sistema especialista de atribuição é baseado nas características geométricas das peças, características de células de fabricação, peças de características e atributos funcionais, bem como o conhecimento de fabricação específica.

Há também os métodos de programação matemáticos que podem ser classificados em quatro grupos principais, com base no tipo de formulação: de programação linear, número inteiro quadrática programação linear, de programação dinâmica e programação de metas (SELIM; ASKIN; VAKHARIA, 1998).

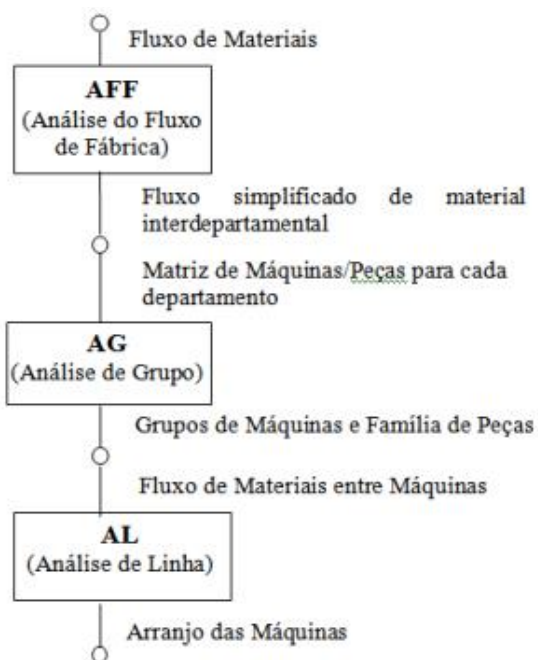
Porém, uma forma simplificada e de baixo investimento de se realizar a TG é pela análise de fluxo de produção, que imprime a sequência de operações e o

caminho que o produto percorre através das máquinas dentro da fábrica (CLÍMACO, 2003).

### 2.1.5.1 Análise de fluxo de produção

Burbidge (1975) propôs uma das abordagens mais antigas para a realização da TG, chamada de análise de fluxo de produção, ou em inglês *production flow analysis* (FPA). Esta técnica identifica os equipamentos necessários para processamento de cada produto. Em seguida, deve-se construir uma matriz relacionando os produtos com seus respectivos equipamentos necessários. Por fim, deve-se analisar e separar em grupos os produtos que utilizam os equipamentos em comum (BLACK, 1998). A Figura 8 ilustra a técnica de FPA e suas etapas sucessivas:

Figura 8 - Etapas da análise do Fluxo de Produção



Fonte: COELHO, BRANCO e RODRIGUES, 2006, p. 4

A primeira etapa é a análise do fluxo de fábrica (AFF), ela consiste no estudo das rotas ou caminhos pelos quais o produto flui pela fábrica. As etapas para análise são: divisão em departamentos, alocação de máquinas por departamento e a determinação de frequência em uso, determinação do número de rota de processo

(NRP), análise de peça por NRP, obtenção da carta de fluxo original, determinação de peças excepcionais, eliminação das exceções e a especificação de um sistema de fluxo padrão entre departamentos (SANTOS; ARAÚJO JÚNIOR, 1999). Tem como objetivo melhor dividir os departamentos existentes na fábrica possibilitando oferecer um sistema de fluxo de material interdepartamental (COELHO; BRANCO; RODRIGUES, 2006). Na Figura 9 pode-se ver a folha de processo para coleta dos dados para a análise do fluxo de fábrica, assim como para as demais:

Figura 9 - Folha de processo

FOLHA DE PROCESSO:			NRP:	
NOME DA PEÇA:			CÓDIGO:	
MATERIAL :				
Operação	Máquina	Descrição da Operação	Tempo	Departamento

Fonte: COELHO, BRANCO e RODRIGUES, 2006, p. 70

A segunda etapa é a análise de grupo (AG), nesta fase busca-se a melhor divisão dos produtos em famílias, e das máquinas em grupos, promove-se a análise dos planos de processo feitos para os componentes de cada departamento. Também nesta etapa se usa a matriz de incidência de máquinas e peças para cada departamento, assim obtendo as células (SANTOS; ARAÚJO JÚNIOR, 1999). Pode-se ver na Figura 10, no quadro à esquerda, a matriz de incidência antes das alterações e, à direita, a matriz de incidência após reorganização das famílias.

Figura 10 - Matriz de incidência de máquinas e peças

		Peças					
		1	2	3	4	5	6
Máquinas	05	1			1		1
	03	1			1		
	04		1	1		1	
	02		1	1			
	01			1		1	

		Peças					
		1	4	6	3	2	5
Máquinas	05	1	1	1			
	03	1	1				
	04				1	1	1
	02				1	1	
	01				1		1

Fonte: BRITO, 2010, p. 36



Após realizada a matriz de incidência, nossas células são formadas a partir dos grupos de equipamentos conforme a similaridade, os quais são necessários para a produção das famílias, simplificando o fluxo de produção.

Na terceira e última etapa, chamada de análise de linha (AL), é analisado o fluxo de materiais em cada célula formada a fim de obter o melhor arranjo para o *layout* celular. Através das informações obtidas nas etapas anteriores, o objetivo passa a ser o de encontrar o arranjo físico das máquinas dentro de cada célula do mais próximo do arranjo em linha.

O rearranjo físico de uma empresa, tanto do *layout* celular como do *layout* funcional apresentados na literatura, permite afirmar que acarretam em diversos impactos simultâneos na análise de um processo produtivo, assim, há a necessidade de indicadores que meçam seus efeitos e validem se o seu rearranjo trará resultados satisfatórios ou não para a empresa. Estes indicadores e seus conceitos serão discutidos na seção seguinte.

## **2.2 Teoria das Restrições (TOC)**

A teoria das restrições foi desenvolvida pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, mundialmente conhecido após a publicação do livro “A Meta”, em 1984. Neste livro introduziu os principais princípios globais dessa teoria em estilo socrático (GOLDRATT; COX, 2002).

Para Goldratt e Cox (2002), a principal meta de uma empresa é ganhar dinheiro hoje e no futuro, embora uma organização possa ter muitos propósitos – fornecer empregos, consumir matéria-prima, aumentar as vendas, aumentar participação no mercado, desenvolver tecnologias ou fabricar produtos de qualidade – esses não garantem a sobrevivência a longo prazo das empresas. Eles são meios para alcançar a meta, não a meta em si. Se a empresa faz dinheiro, e apenas isso, ela vai prosperar. Quando uma empresa tem dinheiro, pode enfatizar outros objetivos.

Essa meta é alcançada pela otimização das restrições de um sistema. A restrição é qualquer elemento ou fator que impeça que um sistema atinja um melhor desempenho em relação a sua meta, podendo haver restrições físicas ou não físicas (KROLL, 1998). Segundo Goldratt e Cox (2002), em todos os sistemas há sempre uma operação restritiva, classificando-as em dois tipos de recursos que limitam os fluxos de materiais no sistema produtivos e com isso, o desempenho econômico-financeiro da empresa de maneira global: os gargalos e os recursos com capacidade restritiva (*capacity constraints resources* – CCRs).

Os gargalos são os recursos que têm uma capacidade inferior para o atendimento da demanda necessária. Quando existem várias operações com a capacidade inferior a demanda, o gargalo principal será considerado o de maior déficit negativo em relação à demanda. O conceito de gargalo é de origem estrutural, mesmo sendo necessário reanálise quando o *mix* de produção sofrer alterações a tendência é que os gargalos não se modifiquem. São possíveis ações tanto para o aumento da capacidade do recurso como para reduzir a demanda dos produtos que passam por este recurso. Os gargalos tendem a ser poucos e, muitas vezes, pode se reduzir somente a um por período considerável de tempo. Para que o gargalo seja alterado, são possíveis inúmeras ações que aumentem a capacidade do recurso (ANTUNES et al., 2008).

O gargalo normalmente é do tipo estrutural, sendo necessário algum investimento para sua otimização. Estes investimentos podem ser baixos caso estejam associados a melhores práticas de fabricação ou métodos e técnicas do Sistema Toyota de Produção. Porém, em outros casos o investimento pode ser elevado, quando é necessário a aquisição de novos equipamentos e criação de novos turnos de trabalho (COX; SPENCER, 2002).

Já os CCRs são os recursos que na, maior parte do tempo, tem a capacidade necessária para atender a demanda, mas devido as variações no sistema produtivo podem apresentar restrições de capacidade. São exemplos de variações: (a) relacionados ao sequenciamento de produção gerando deficiência no processo de sequenciamento, paradas não programadas, variação do *mix* de produção e alteração frequente nas demanda do cliente; (b) problemas relativos à manutenção;

(c) questões associadas aos tempos de *setup* que refletem em tempos reais de preparação acima dos tempos programados; (d) problemas associados à qualidade do produto, como por exemplo, defeitos e retrabalhos; (e) variabilidade e sazonalidade da demanda, como a compra concentrada em determinado período do mês. Deve-se eliminar sistematicamente estas causas com a padronização das preparações, melhorias nos equipamentos e na manutenção dos mesmos diminuindo os riscos de quebra, aumento da confiabilidade do recebimento de matéria prima e nivelamento de capacidade e demanda, adiantando pedidos ou postergando (COX; SPENCER, 2002).

Os CCRs têm a característica de ser conjuntural, ou seja, tendem a ocorrer na soma de problemas ao longo do tempo no sistema produtivo, assim mudando de lugar com frequência. Esta característica leva a percepção errônea de que o gargalo está a todo tempo mudando de lugar. Considerando estes fatores, é um equívoco a aquisição, por exemplo, de novas máquinas procurando solucionar estes problemas conjunturais que existem no sistema produtivo. De tal modo é sugerido, no caso de CCRs, que não seja realizado o investimento na capacidade produtiva, na medida em que ela já está disponível na fábrica, e sim tratar as causas das variabilidades do sistema produtivo (ANTUNES et al., 2008).

Após elucidado sobre as restrições do sistema, a TOC propõe um conjunto de princípios básicos pela busca da otimização do sistema e na busca por estes objetivos. Estes princípios são constituídos em cinco passos que visam identificar os fatores restritivos, da qual impedem a empresa de alcançar seus resultados, com o objetivo de “quebrá-los”, repetindo este processo indefinidamente (KAHMANN et al., 2014).

Segundo Cox e Spencer (2002), os cinco passos são:

- Etapa 1 - Identificar a restrição do sistema: é necessário a gestão focalizar na restrição, já que o desempenho de todo sistema depende disso. Para identificação da restrição é necessário dirigir-se à fábrica e fazer perguntas aos funcionários que conhecem o fluxo de produtos pelo sistema de produção.

- Etapa 2 - Decidir como explorar a restrição do sistema: como cada minuto perdido no recurso crítico é perdido em todo sistema, é fundamental elevar a eficiência produtiva da restrição assegurando que o mesmo esteja ocupado todo tempo possível. Normalmente isso é possível com mudanças simples, como alternar equipes para que o recurso não pare no intervalo para almoço e as limpezas sejam realizadas depois do trabalho.
- Etapa 3 - Subordinar todos os demais recursos à restrição do sistema: é necessário o rearranjo produtivo de forma que seja balanceado as capacidades dos recursos conforme a capacidade da restrição, para que não haja acúmulo de estoque entre as operações. Esta etapa é extremamente desafiadora, já que questiona todas as práticas e procedimentos gerenciais tradicionais, assim como indicadores locais.
- Etapa 4 - Elevar a restrição do sistema: diferentemente da etapa 2, onde é aumentando a utilização (eficiência) do recurso crítico, nesta fase é aumentando a capacidade produtiva da restrição. Isto pode ser feito aumentando a velocidade dos alimentadores ou até mesmo acrescentando mais equipamentos.
- Etapa 5 – Volte a etapa 1 se a restrição foi quebrada: a quebra da restrição implica na geração de outra restrição no sistema. Por isso é necessário voltar a etapa 1 e seja reiniciado todo o processo para evitar que a inércia interrompa o processo de melhoria contínua.

Desta forma, conclui-se que a TOC é uma filosofia de gestão empresarial que estimula a melhoria contínua e a proposição de metas para a organização (WONG et al., 2009). Sua aplicabilidade tem sido relatada em diversas áreas, como por exemplo: produção (GOLDRATT, 2009), projetos (HERROELEN; LEUS, 2001), *marketing* (BLACKSTONE, 2001), serviços (REID; CORMIER, 2003). Um exemplo de aplicação dessa abordagem, é o trabalho de Moellmann et al. (2006), que utilizaram os princípios da Teoria das Restrições para melhoria da produtividade em um processo de fabricação.

Contudo, uma das dificuldades na avaliação das alterações no processo industrial, é mensurar se tais mudanças estão de acordo com a meta global da empresa e se estão dando resultado esperado. Para isso Goldratt e Cox propuseram indicadores de desempenho, locais e globais, que são relacionados entre si e tem por objetivo orientar as ações tomadas.

### 2.2.1 Indicadores de desempenho

Goldratt desenvolveu um processo de pensamento que identifica, analisa e soluciona problemas baseado em um método científico, com relação do tipo efeito-causa-efeito. Segundo Goldratt e Cox (2002), “a soma dos ótimos locais não é igual à soma dos ótimos globais”. Esta afirmação nos leva a questionamentos como: qual é o ótimo global de uma empresa? Como saber se a meta está sendo alcançada? Como definir as ações locais visando o alcance da meta?

A partir deste processo de pensamento, Goldratt e Cox (2002) e Goldratt e Fox (1989) desenvolveram um sistema de indicadores globais com a função de orientar as ações e resultados das melhorias implantadas. São estes indicadores: lucro líquido (LL), retorno sobre o investimento (RSI) e caixa (C).

Estes indicadores globais são medidos por níveis hierárquicos elevados da empresa, por exemplo, diretores. Mas para trazer estes indicadores para a realidade do nível gerencial fabril, Goldratt e Cox (2002) propõem três indicadores operacionais, são eles: o ganho (G), os investimentos (I) e as despesas operacionais (DO).

O ganho (G) é o índice que representa a taxa de geração dinheiro através das vendas. Pode ser calculado subtraindo-se todas as despesas paga a terceiros. Significa que conta apenas o que a empresa recebe não o que ela fatura (TOLLINGOTN, 1998; GOLDRATT; COX, 2002; CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006). Assim as equações para calcular o ganho (G) segundo Corbett Neto (1997) são:

$$Gu_i = Pv_i - CTV_i \quad (1)$$

Em que:

$(Gu_i)$  ganho unitário do produto  $i$ . Mostra quanto cada produto  $i$ , contribui para o ganho da organização;

$(Pv_i)$  preço de venda unitário de  $i$ ;

$(CTV)$  custo totalmente variável, isto é, o montante que varia para cada acréscimo de uma unidade nas vendas do produto  $i$  e, na maioria dos casos, refere-se à matéria prima.

$$GT_p = Gu \times q \quad (2)$$

Em que:

$(GT_p)$  ganho total do produto;

$(q)$  quantidade vendida no período;

O investimento ( $I$ ) ou inventário, está relacionado com os estoques, ou seja, é todo o dinheiro investido para transformar o produto final em ganho. Entende-se também que é todo o dinheiro preso na empresa em forma de estoques (mercadorias, produtos e matéria prima) e patrimônio (máquinas, equipamentos, imóveis, etc.). Por exemplo, supondo que uma empresa fabrique 1.000 peças e que, da quantidade produzida, apenas 700 sejam vendidas, desta forma, embora a saída seja de 1.000 peças, o ganho foi somente de 700 peças, sendo que as outras 300 peças serão consideradas, enquanto não forem vendidas, como inventário ou investimento (TOLLINGTON, 1998; GOLDRATT; COX, 2002; CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006). A fórmula do investimento ( $I$ ) está representada na Equação 3.

$$I = I_M + I_P \quad (3)$$

Em que:

$(I)$  é o investimento;

$(I_M)$  é o valor em R\$ das mercadorias, produtos e matéria primas em estoque no período;

$(I_P)$  é o valor em R\$ do patrimônio (máquinas, equipamentos, imóveis, etc.) da empresa no período.

A despesa operacional (DO), está relacionada com todo o custo e despesas para transformar matéria prima em produto acabado, por exemplo, salários, aluguel, energia, folha salarial, etc. Além desses gastos, incorporam-se a essa despesa os valores de bens que não faziam parte do inventário e foram utilizadas ou desgastadas no período, como a depreciação de máquinas. Assim todos os trabalhos diretos ou indiretos, são considerados despesas operacionais (GOLDRATT; COX, 2002; CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006). A fórmula da despesa operacional (DO) está representada na Equação 4.

$$DO = \sum DO + \sum DM \quad (4)$$

Em que:

$(DO)$  é a despesa operacional;

$(\sum DO)$  é a soma das despesas operacionais;

$(\sum DM)$  é a soma das depreciações.

A partir da elucidação sobre indicadores operacionais, é possível relacioná-los aos indicadores globais. De forma que o lucro líquido (LL) pode ser obtido pela subtração das despesas operacionais (DO) dos ganhos (G), conforme demonstrada na Equação 5. O retorno sobre investimento pode ser obtido pela divisão do ganho (G) pelo investimento (I), conforme demonstrado na Equação 6 (GOLDRATT; COX, 2002; CHASE; JACOBS; AQUILANO, 2006).

$$LL = G - DO \quad (5)$$

$$RSI = \frac{L}{I} \quad (6)$$

Em que:

(*LL*) é o lucro líquido;

(*G*) é o ganho;

(*DO*) são as despesas operacionais;

(*RSI*) é o retorno sobre investimento;

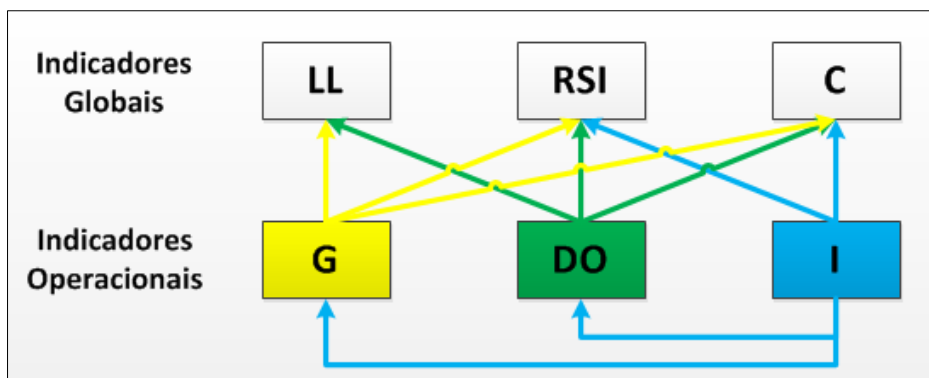
(*L*) é o lucro;

(*I*) é o investimento.

Goldratt (1996) ressalta que as empresas devem buscar em primeiro lugar aumentar seus ganhos, deixando a redução dos custos em segundo plano, assim o indicador ganho (*G*) tem maior importância na escala de prioridades na Teoria das Restrições. Goldratt também afirma que a redução dos investimentos é mais importante do que a redução das despesas operacionais, com base no que os japoneses demonstraram sobre a importância da redução de investimentos, em particular a redução dos inventários de produtos acabados e em processo, que podem incrementar os ganhos futuros na empresa. Mesmo que os investimentos reflitam somente no lucro líquido (*LL*) e no retorno sobre investimento (*RSI*), enquanto que os as despesas operacionais melhorem o lucro líquido (*LL*), o retorno sobre investimento (*RSI*) e o caixa (*C*), os investimentos geram uma série de impactos que resultam no incremento dos ganhos futuros e a redução das despesas operacionais. Desta forma indireta, os investimentos agem sobre todos os indicadores globais (ANTUNES et al., 2008). Esta relação entre os indicadores de desempenho, globais e operacionais, e suas interferências entre si pode ser vista na Figura 11.



Figura 11 - Relação entre indicadores de desempenho da TOC



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Rodrigues (1990, p. 8).

Entende-se que com base na literatura a aplicação destes indicadores operacionais funciona da seguinte forma: imagine que é necessário fazer determinada melhoria em sua empresa, antecedendo a melhoria são realizadas as seguintes perguntas: esta melhoria vai aumentar ganho da empresa?; esta melhoria vai reduzir as despesas operacionais da empresa?; esta melhoria vai reduzir o investimento da empresa? Em caso de resposta afirmativa em todas estas perguntas, a melhoria se mostra justificável por que, certamente, vai aumentar os resultados globais da empresa. No entanto, se alguma destas respostas for negativa, é necessária uma análise mais cautelosa, porque o que pode acontecer é, que a sua melhoria seja somente local e não atinja o resultado global.

Desta forma, a TOC e seus indicadores de desempenho trazem importantes contribuições como: integração da administração da produção com a contabilidade; a simplificação das medidas de desempenho no processo contínuo de decisão e ação e; a mudança de prioridades na análise de negócios quanto à redução de inventários e a redução de despesas operacionais (CORRÊA, 2001).

Para a análise dos impactos do rearranjo de *layout*, exige-se uma metodologia que contemple todas as variáveis, tenha uma visão sistêmica, rápida e de baixo custo dos efeitos e contribuições de cada *layout*. Assim, uma das abordagens que vem tendo crescente aplicação no planejamento de *layouts*, por considerar uma maior quantidade de variáveis do cenário produtivo, é a simulação computacional. Dentro deste panorama que exige respostas rápidas e de baixo custo na tomada de decisão, a simulação computacional é cada vez mais aplicada

nas empresas, na procura da otimização dos recursos e dos processos produtivos (HARREL et al., 2002).

### **2.3 Simulação de eventos discretos**

A simulação é um método que utiliza determinadas técnicas matemáticas com auxílio de computadores digitais, que possibilita imitar o funcionamento de qualquer processo ou operação de um sistema do mundo real (BANKS, 1998; FILHO, 2001; BATEMAN et al., 2005; CHWIF; MEDINA, 2010). Os modelos de simulação possibilitam avaliar o processo de produção e sua evolução ao longo do tempo, sendo uma técnica muito útil quando há limitações de recursos e tempo (LU; WHONG, 2006).

Entende-se que a simulação computacional permitiu aos cientistas e engenheiros, a possibilidade de realizar experimentos com maior facilidade reproduzindo os sistemas reais em ambientes virtuais, elevando a análise dos eventos naturais e artificiais para um novo nível de detalhe e proporcionando grande ajuda na concepção e análise de sistemas (WAINER, 2009).

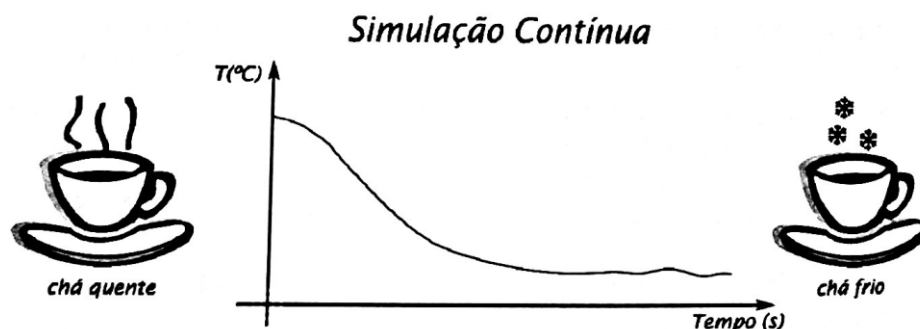
Para Chwif e Medina (2010) o modelo de simulação é comumente utilizado como uma abordagem para obter respostas quando há mudança das variáveis, “O que ocorre se...?”. Como por exemplo: o que ocorre se adicionarmos mais máquinas no processo?; o que ocorre se houver redução de 3 colaboradores da equipe?; o que ocorre se houver aumento na demanda de 20%?. As respostas podem ser inúmeras, assim um modelo de simulação pode ser útil na análise das diversas variáveis que envolvem o sistema.

Vários estudos comprovam os benefícios do uso da simulação no apoio a decisão. Com a análise de um sistema de produção de carnes utilizando simulação de eventos discretos, Gómez, Hernandez e Correa Espinal (2016), identificaram as operações com menor e maior utilização, o tempo médio de filas, além de mostrar que o sistema analisado está com sua capacidade no seu limite. Helleno et al. (2014), demonstraram que com a utilização de simulação é capaz de fornecer cenários de otimização das operações da manufatura, assim auxiliando na decisão

para se obter o melhor cenário de otimização com um baixo custo e tempo, uma vez que são necessários testes práticos nos ambientes de produção. No estudo de caso de Soares et al. (2011), onde se buscou uma reestruturação de *layout* em uma empresa do ramo automotivo, a simulação auxiliou na visualização do funcionamento do sistema, permitindo uma maior facilidade no entendimento, tanto para operadores como para os gestores da empresa, de como o sistema funcionaria em uma situação real com as alterações de *layout* propostos, facilitando a aprovação das mudanças. Para Caldas e Sacramento (2016), que realizaram um modelo de simulação de uma praça de pedágios, afirmam que a simulação rendeu em uma importante contribuição aos gestores que se expressa em: redução do congestionamento, redução no tempo de viagem, redução de emissão de gases poluentes e na melhora na qualidade de vida dos usuários.

A simulação pode ser classificada em três categorias, a primeira delas é a simulação de Monte Carlo, que consiste em gerar dados artificialmente com auxílio de um gerador de números aleatórios e uma distribuição de frequências da variável de interesse. Esta simulação é particularmente utilizada para solução de problemas matemáticos complexos (FILHO, 2001). A segunda e a terceira são a simulação contínua e a simulação de eventos discretos, as quais levam em consideração as mudanças de condição do sistema ao longo do tempo. A simulação contínua é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo. Este tipo de modelo utiliza equações diferenciais para o cálculo das mudanças variáveis ao longo do tempo. Na Figura 12 pode-se ver o exemplo da perda de temperatura ao longo do tempo de uma xícara de chá quente (CHWIF; MEDINA, 2010).

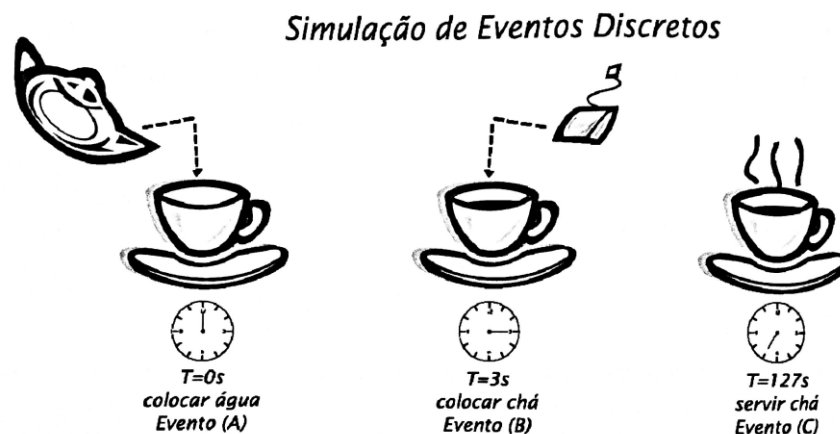
Figura 12 - Evolução dos estados na simulação de evento contínuo



Fonte: CHWIF e MEDINA, 2010, p. 10

Já a simulação de eventos discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam seu estado em momentos específicos da simulação. Exemplo disto são os eventos que antecedem o chá esfriar, que seria o seu preparo. Na Figura 13 está um ilustrado um exemplo de eventos discretos, de forma que no evento A é adicionado a água, no evento B é adicionado o sachê de chá e no evento C o chá é servido (CHWIF; MEDINA, 2010).

Figura 13 - Evolução dos estados na simulação de evento discreto



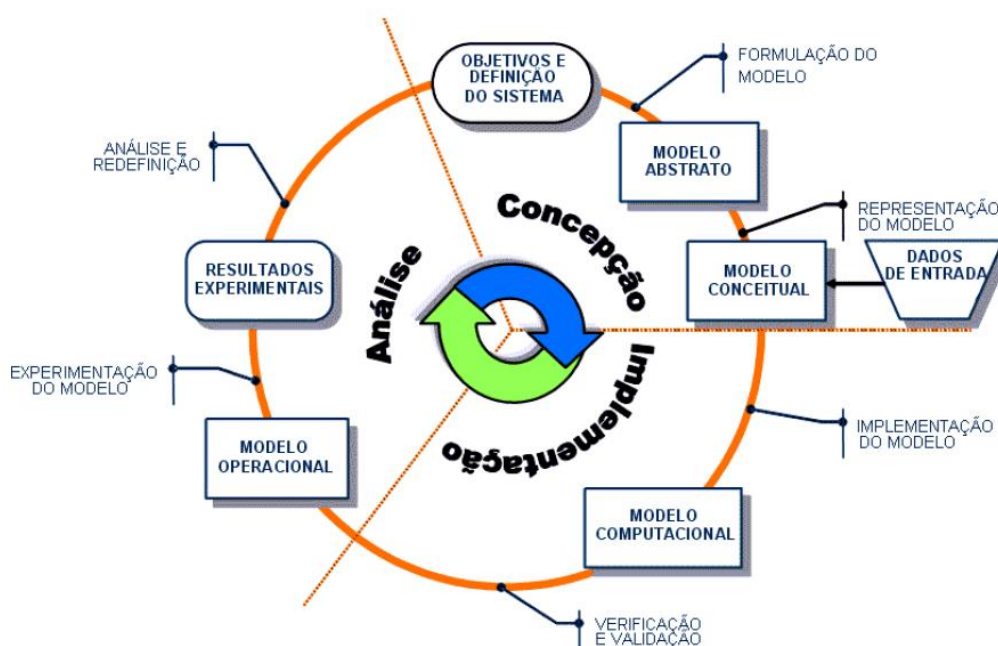
Fonte: CHWIF e MEDINA, 2010, p. 10

Segundo White e Ingalls (2009), há duas aplicações para a simulação computacional. A primeira está ligada a formação e treinamento de pessoas. Desta forma, profissionais das diversas áreas podem utilizar os modelos de simulação para, por exemplo, aperfeiçoarem suas habilidades práticas ou, até mesmo, aprenderem certos procedimentos que envolvam alto risco. A segunda está ligada a aplicações em análise e/ou projetos de processos, sendo largamente utilizada por

empresas para auxiliar, sobretudo, a tomada de decisão. Assim a simulação computacional pode evitar decisões custosas que resultem em investimentos inadequados a empresa (KRAJEWSKI; RITZMAN, 2001).

Para que a aplicação da simulação seja bem sucedida deve se seguir a metodologia de simulação corretamente. O processo de simulação pode ser definido em três etapas: concepção, implementação e análise. A Figura 14 ilustra estas etapas:

Figura 14 - Fases de um estudo de simulação



Fonte: PEREIRA e CHWIF, 2010, p. 2

Na primeira etapa, chamada concepção, deve-se entender claramente o sistema, definir qual a ser simulado e os seus objetivos. Deve-se definir o escopo do modelo, suas hipóteses e seu nível de detalhamento. Os dados de entradas já são coletados nesta fase e por final é construído o modelo conceitual por meio de um *layout* esquemático, de forma que o mesmo seja validado com as demais pessoas envolvidas no projeto (BANKS, 1998; SARGENT, 1999; PEREIRA; CHWIF, 2010; CHWIF; MEDINA, 2010).

Na segunda etapa, chamada implementação, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através de algum *software*. Há duas

categorias de *softwares* computacionais para simulação de ambientes de manufatura (IRIZZARY; WILSON; TREVINO, 2001): (i) com linguagem de simulação para propósitos gerais; e (ii) com linguagem para manufatura. Neste estudo foi utilizado o *software* ProModel®, com orientação para modelagem e simulação de processos de manufatura e de eventos discretos. Por conseguinte, o modelo computacional deve ser comparado com o modelo conceitual, com a finalidade de validar se atende o que foi estabelecido na concepção. É nesta etapa que são verificados se as informações coletadas e geradas correspondem ao sistema real (CHWIF; MEDINA, 2010; LAW, 2005).

Na terceira e última etapa, chamada análise, o modelo está pronto para realização dos experimentos. Nesta fase o modelo é rodado múltiplas vezes e verificado seus resultados. A partir dos resultados, são tiradas conclusões que irão auxiliar na tomada de decisão (CHWIF; MEDINA, 2010).

### **2.3.1 Simulador ProModel®**

O *software* de simulação ProModel®, desenvolvido pela *ProModel Corporation*, é voltado à manufatura, mas sua aplicação é possível em diversas áreas, como serviços. Este *software* é um dos mais flexíveis devido a sua capacidade de construir lógicas complexas. Apresenta recursos de análise estatísticas satisfatórios, interface simples, possibilita considerar paradas baseadas pelo calendário, turnos de trabalho e múltiplas replicações de simulação (LAW; KELTON, 1991).

Os modelos são construídos pelo domínio dos módulos necessários do *menu* de construção. Estes módulos são tabelas de edição e caixas de diálogos usadas para estruturar os parâmetros necessários ao modelo. Embora as informações subsequentes possam fazer parte do modelo, existem certos elementos que são obrigatórios (HARREL et al., 2002).

Conforme o ProModel 2011 User Guide (2011), os principais elementos do ProModel® são:

- *Locations* (locais): são elementos fixos (estacionários) onde as operações acontecem. Estes elementos podem estar em qualquer lugar onde uma entidade é processada. Eles podem ser também áreas para enfileiramento, locais de armazenamento ou esteiras. No campo “locais” são processadas as peças, materiais, ou até mesmo pessoas que sofrem algum tipo de processo no sistema. As figuras usadas para representar os locais podem ser aumentadas ou diminuídas e posicionadas na tela do *layout*. Elas podem ser editadas para mostrar informações adicionais tais como o nome do local, contadores e medidores de nível. Filas e esteiras também podem ser inseridas no campo locais, definindo sua velocidade, comprimento e outras características.
- *Entities* (entidades): são elementos móveis que sofrem alguma transformação nos locais. Podem representar matéria-prima, produtos, documentos, informações e pessoas. O ProModel® permite parametrizar as características das entidades, por exemplo, velocidade, dimensões e tipo. As entidades são representadas no modelo através de ícones gráficos. Elas podem ser móveis ou estacionárias. A dinâmica conferida pelo ProModel® às entidades permite que estas sofram operações cujos resultados são novas entidades como reunião, divisão e conversão.
- *Arrivals* (chegadas): aqui é definida a forma que as entidades chegam ao sistema em estudo. Através do campo chegadas, definem-se parâmetros como local da chegada da entidade no sistema, quantidade, frequência e distribuições de probabilidade. Se este campo é deixado em branco, o modelo irá usar os dados do campo frequência para determinar a primeira vez. Chegadas cíclicas como variação na quantidade de clientes que entram em um banco em cada período do dia podem ser definidas, utilizando um ciclo de chegadas. As chegadas podem ser habilidades ou desabilidades conforme a necessidade de testar combinações de programações.

- *Processing* (processos): os processos definem as interligações entre os locais, os tempos de operação, os recursos necessários, a lógica de movimentação e os roteamentos de entidades. É possível no ProModel® inserir comandos específicos de simulação e também criar rotinas específicas através do *logic builder*. Este recurso do *software* confere a flexibilidade de programação de diferentes lógicas, de acordo com cada sistema analisado.
- *Attributes* (atributos): os atributos são semelhantes a variáveis, mas estão ligados a locais e entidades específicas e, geralmente, contêm informações sobre esse local ou entidade. Atributos podem conter números inteiros ou números reais. Também pode-se atribuir elemento de modelo nomes a um atributo, que é armazenado como o número de índice do elemento.
- *Variables* (variáveis): as variáveis são classificadas em globais e locais. As variáveis globais são associadas ao local definido pelo usuário para representar mudança de valores numéricos. As variáveis locais são sequências que estão disponíveis apenas dentro da lógica realizada. As variáveis podem conter números ou números inteiros reais, incluindo os valores de índice de elemento, e são normalmente utilizados para a tomada de decisão ou a gravação de informações.
- *Macros* (macros): as macros são um espaço reservado para uma expressão usada frequentemente, conjunto de instruções e funções, ou qualquer texto que pode ser usado em um campo de expressão ou lógica. A macro pode ser digitado uma vez, e, em seguida, o nome da macro pode ser substituído pelo texto que ela representa em qualquer parte do modelo e tantas vezes quanto necessário.



### **3 METODOLOGIA**

O presente capítulo visa definir o tipo de pesquisa realizada e os métodos usados para atingir os objetivos, bem como um fluxograma de trabalho usado para organizar as fases do trabalho e definir as ferramentas que serão necessárias para o presente trabalho.

#### **3.1 Delineamento da pesquisa**

Pesquisa é um procedimento racional e sistemático que visa proporcionar respostas aos problemas propostos. Usa-se a pesquisa a fim de responder perguntas que não possuem informações suficientes, ou quando a mesma se encontra em desordem sendo incapaz de relacionar a pergunta (GIL, 2007).

Para Ganga (2012), é necessário delinear a pesquisa ao método e abordagem mais adequada, visando sempre responder os problemas propostos na pesquisa. Desta forma, classifica-se o método e abordagem da seguinte forma: natureza do resultado, abordagem da pesquisa, propósito da pesquisa e procedimentos técnicos.

De acordo com Gil (2007), existem diversas razões para a realização de uma pesquisa, sendo classificado em dois grupos: de ordem intelectual, decorre apenas do desejo de conhecimento; e de ordem prática, provem do desejo de conhecer para fazer algo de forma mais eficiente e eficaz.

Esta pesquisa é de ordem prática, uma vez que buscou-se analisar os conhecimentos e métodos existentes para análise e implementação do rearranjo físico do sistema produtivo da empresa estudada, propondo assim melhorar a organização do sistema que visam a obtenção de melhores resultados.

Segundo Miguel et al. (2010), a pesquisa pode ser classificada como: abordagem quantitativa ou abordagem qualitativa. A abordagem quantitativa tem como característica a capacidade de se quantificar e confirmar estatisticamente as relações de causas e efeitos decorrente das variáveis estimadas nas pesquisas, explicando os fatores que influenciam um determinado fenômeno (GANGA, 2012).

Gil (2007) afirma que a abordagem qualitativa visa medir e analisar relações entre todas as variáveis. Para Marconi e Lakatos (2010), a pesquisa qualitativa visa descobrir o significado de situações que não contenham rigidez na referida direção da investigação, definições operacionais e suposições do pesquisador. Entende-se também que a pesquisa qualitativa busca mensurar dados e informações, verificando a relação com a necessidade e grandeza.

Define-se esta pesquisa com abordagem quantitativa, pois o presente trabalho visa medir e analisar as relações entre as variáveis, obtendo-se os resultados estatisticamente das relações entre causas e efeitos.

As pesquisas podem ser divididas em seis grupos: exploratória, descritiva e explicativa, preditiva, ação e avaliação (GIL, 2007; GANGA, 2012). As pesquisas de avaliação são usadas para analisar a eficiência ou eficácia de uma prática ou programa específico, de um determinado local. Este método distingue-se dos outros pelo fato de visar o foco na decisão (GANGA, 2012). Com base na definição, classifica-se este projeto como uma pesquisa de avaliação, devido ao seu caráter de analisar os dados na comparação dos dois tipos de *layout* propostos.

Conforme Miguel et al. (2010), o método de pesquisa pode ser classificado em seis categorias: estudo de caso, pesquisa de campo, pesquisa qualitativa, *survey*, pesquisa com dados secundários e experimental. Sobre o meio de investigação, este trabalho pode ser classificado tanto como pesquisa experimental

e estudo de caso. Já que em um primeiro momento foi realizada a pesquisa de estudo de caso, com objetivo de coletar dados do processo produtivo referentes à utilização de recursos e medidas de produção, tempos de processamento e mapeamento do processo. Na segunda etapa foi realizada a pesquisa experimental, que teve como objetivo realizar experimentos com as medidas obtidas do estudo de caso, buscando analisar os dois *layouts* propostos e identificar o com melhor resultado.

Segundo Vergara (2006), as pessoas que fornecerão os dados da pesquisa são o sujeito da pesquisa. Neste estudo, os sujeitos da pesquisa são o autor e os colaboradores do setor de misturas da empresa. Estes colaboradores são diretamente relacionados com a produção do setor.

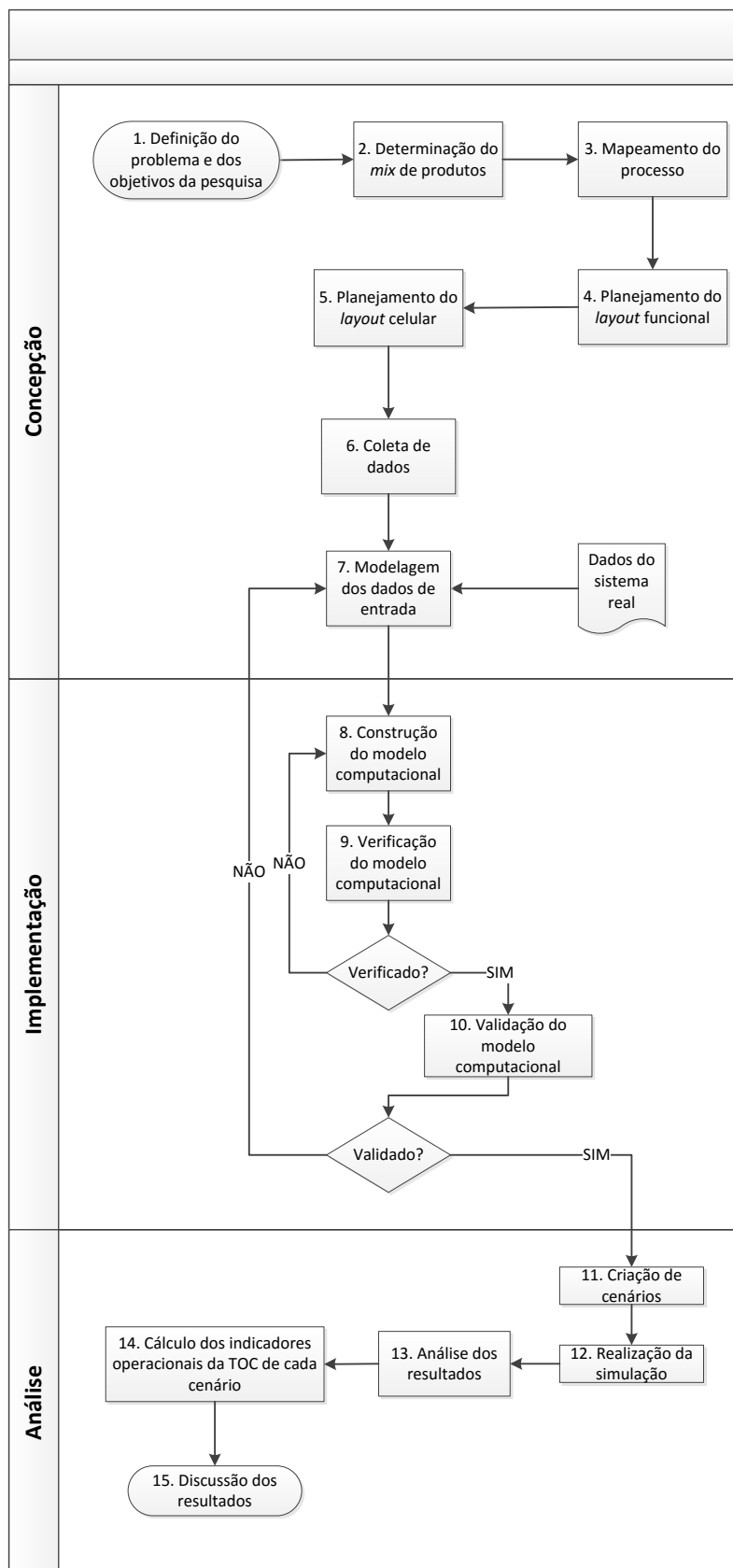
### **3.2 Planejamento do método**

Existem seis fontes de evidências comumente usadas na realização de um estudo de caso, sendo elas: documentação; registros em arquivos; entrevistas; observações diretas; observações participantes; e artefatos físicos. Entende-se que uma única fonte não possui vantagem completa sobre as outras, desta forma várias fontes são complementares para que se obtenha um bom estudo de caso (YIN, 2010).

Assim, se faz necessário utilizar inúmeras técnicas para coleta de dados, desta forma é possível garantir a abrangência necessária no estudo e a inserção do caso em seu contexto, proporcionando desta forma maior confiabilidade nos resultados. Entende-se ainda que seja indispensável que se identifique, descreva e analise: o local que ocorre o fato; os autores; os eventos e; os processos.

O desenvolvimento deste estudo ficará limitado apenas à linha de misturas, a qual tem uma grande variedade de produtos. A Figura 15 apresenta um fluxograma com as etapas desenvolvidas ao longo do trabalho, para melhor compreensão da metodologia empregada.

Figura 15 - Metodologia empregada para o estudo



Fonte: Adaptado de Xavier et al. (2010, p. 4)

1. Definição do problema e objetivos: nesta etapa foi definido o problema do estudo, assim como seus objetivos;
2. Determinação do *mix* produtivo: com auxílio da curva ABC, foram definidos os produtos de maior representatividade por volume para serem considerados no estudo;
3. Mapeamento do processo: após definido os produtos que seriam considerados no estudo, foi possível acompanhar a produção dos mesmos, construindo o fluxograma do processo. Também foram descritas, através de entrevistas, observações e análise documental, as práticas de gerenciamento de produção assim como o fluxo do processo produtivo;
4. Planejamento do *layout* funcional: com o *software* CORELAP, foi projetado o *layout* funcional definindo a posição dos departamentos;
5. Planejamento do *layout* celular: utilizando o método de análise do fluxo de produção para a realização da tecnologia de grupo, foi projetado o *layout* celular definindo as famílias de produtos e as células produtivas. A terceira e última etapa do método, análise de linha, não foi aplicada neste estudo, por que esta etapa dá enfoque ao fluxo da matéria-prima da estocagem até o setor produtivo e como o estudo está limitado do fluxo da matéria-prima já estando no estoque intermediário do setor, não há aplicabilidade desta etapa;
6. Coleta de dados: nesta etapa foram realizadas as coletas de tempo de cada operação pela qual os produtos, identificados na análise do *mix*, passam no fluxo produtivo, desde a chegada da matéria-prima no setor até a chegada do produto final no estoque. Assim também foram levantados os recursos, equipamentos e suas respectivas capacidades;
7. Modelagem dos dados de entrada: através do *software* estatístico Statfit®, os tempos foram analisados para verificar qual a distribuição contínua probabilística mais adequada a ser aplicada em cada grupo

de amostras coletadas. A representação dos dados através de distribuições probabilísticas é necessária para conferir aleatoriedade ao sistema computacional e fazer com que este reproduza precisamente o sistema real. Também foi analisado neste *software* se os dados coletados não apresentam um alto grau de dispersão. Quando isto se confirmou, os dados foram revalidados realizando uma maior amostragem;

8. Construção dos modelos computacionais: o *software* utilizado para a geração dos modelos computacionais foi o ProModel®. Além dos tempos de operação das atividades coletados junto à empresa e da lógica de processamento apresentada pelo modelo conceitual, as outras informações necessárias para o desenvolvimento dos modelos computacionais foram: número de operadores das linhas, número de equipamentos, tempos de espera, taxa de refugos e programação dos turnos (horários de início, término e paradas programadas);
9. Verificação dos modelos computacionais: foi realizada ao longo do processo de construção dos mesmos e, dessa forma, à medida que os erros fossem identificados, eram imediatamente corrigidos;
10. Validação dos modelos computacionais: foram validadas as informações através do comparativo entre a quantidade produzida do sistema real e do modelo do cenário atual buscando o menor índice percentual de diferença. Para a validação dos modelos computacionais como para os dois modelos propostos, foram definidas a realização de cinco replicações para cada uma delas. Araújo (2002), Pinho et al. (2006) e Soares et al. (2011) também utilizaram em seus modelos cinco replicações para suas rodadas produtivas e obtiveram resultados satisfatórios em termos de tendências de comportamento do sistema analisado;
11. Criação dos cenários: a partir da coleta e análise dos tempos das operações, foi possível por meio da simulação computacional, com o

*software* ProModel®, construir os modelos do *layout* funcional e celular de simulação e mensurar os valores de capacidade produtiva, quantidade de equipamentos e funcionários necessários que auxiliaram no cálculo dos indicadores operacionais da TOC;

12. Realização da simulação: foram realizadas as simulações para verificar o comportamento de cada *layout* em cada um dos dois cenários criados, sendo cada um deles replicados cinco vezes. Cada uma das suas replicações tiveram o tempo de 8 horas e 48 minutos, ou seja, um dia de trabalho do setor produtivo;
13. Análise dos resultados: foram analisados os resultados obtidos das simulações, e alterado os cenários buscando a otimização dos modelos computacionais;
14. Cálculo dos indicadores operacionais da TOC de cada cenário: utilizando os resultados obtidos das simulações, junto com os dados da contabilidade, foram calculados os resultados dos indicadores de desempenho da TOC, sendo elas: ganho, investimento e despesa operacional. Para o cálculo do indicador de desempenho investimento, o valor de matéria-prima e produto acabado não foram considerados no estudo, isso devido o trabalho abordar somente os processos e fluxos dentro do setor produtivo de misturas alimentícias;
15. Discussão dos resultados: a discussão foi realizada ao longo da apresentação dos resultados obtidos ao longo do estudo e por final realizado a conclusão.

## 4 ESTUDO COMPARATIVO ENTRE *LAYOUTS* CELULAR E FUNCIONAL

Este capítulo faz uma descrição da empresa onde é realizado o estudo, da linha de manufatura e dos produtos fabricados. Também apresenta uma aplicação prática do método proposto para realizar a análise de *layouts*, e sua discussão, atendendo aos objetivos da monografia.

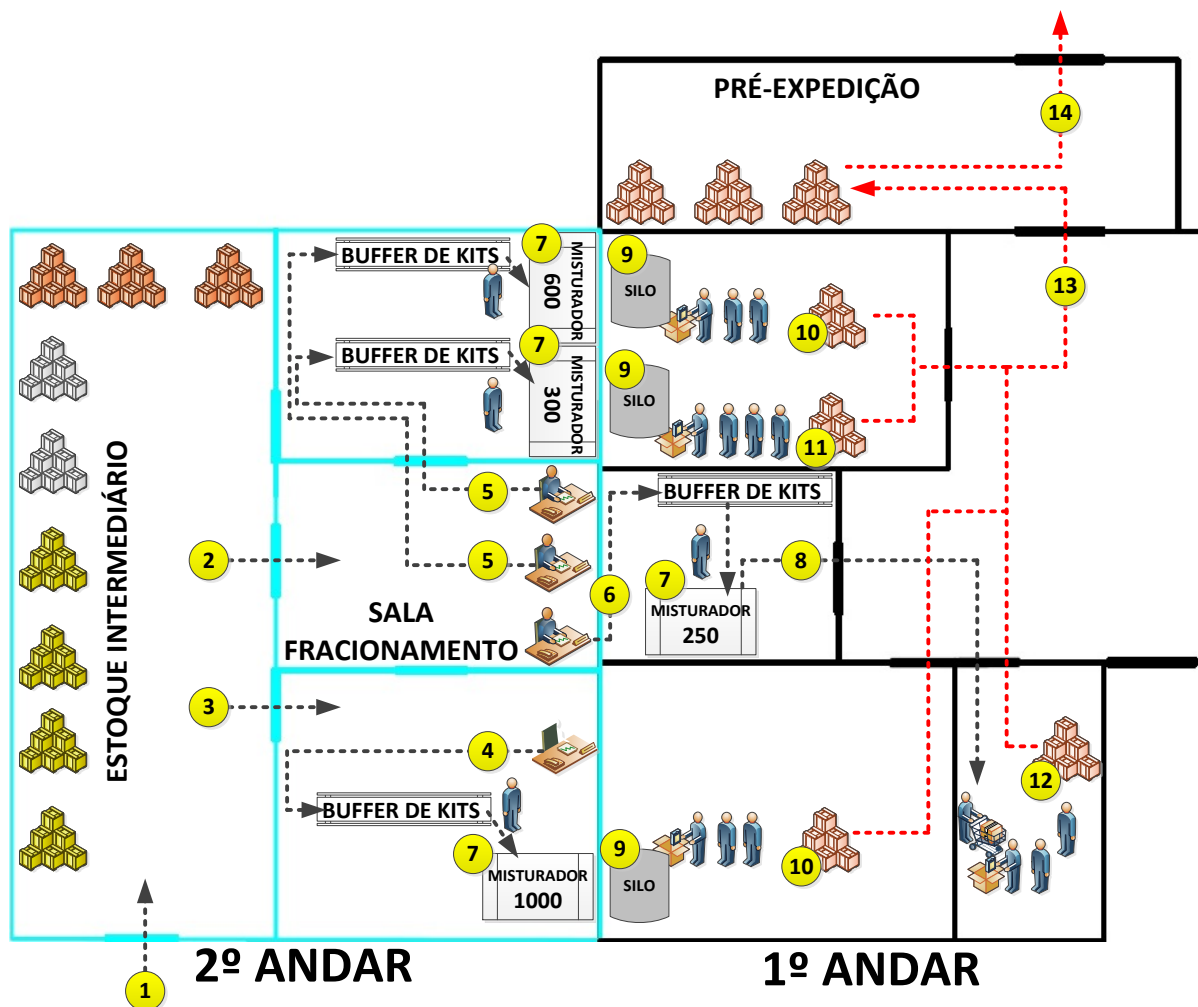
### 4.1 O ambiente produtivo

Como campo de estudo, escolheu-se uma linha de produção dedicada à fabricação exclusiva de misturas alimentícias. Este setor é formado por quatro linhas produtivas e em cada uma delas está instalada uma sequência de equipamentos que atendem a fabricação de todos os produtos, além de 21 funcionários com jornada de trabalho de 8 horas e 48 minutos de segunda à sexta-feira. O setor tem uma demanda média de 575 toneladas/mês, e esta demanda atualmente é atingida. Porém, sendo necessário qualquer aumento acima dessa demanda média, horas extras precisarão ser realizadas, gerando gastos operacionais adicionais e assim reduzindo as margens de lucro da empresa.

Depois de acompanhado as atividades e o fluxo dos materiais do setor, foi possível montar o fluxograma dos processos das linhas de manufatura, como é possível ver na Figura 16.



Figura 16 - Esquema do processo produtivo atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O processo inicia com a entrada do pedido pela área Comercial. A partir daí o planejamento e controle de produção (PCP) da empresa realiza a programação da produção do setor com um dia de antecedência, agrupando os produtos em comum e sequenciando-os nas quatro linhas disponíveis. Após a programação realizada, o setor de almoxarifado é informado por meio de um sistema de informação *Manufacturing Resource Planning* (MRP) a respeito da quantidade de matéria-prima necessária para enviar ao setor de misturas para o atendimento da programação. O almoxarifado separa os ingredientes informados e envia para o setor. Então inicia o processo de fabricação seguindo os passos da Figura 16:

1. A matéria-prima entra na sala de estocagem do setor que fica no 2º andar e lá fica armazenada até seu uso;
2. A matéria-prima é retirada do estoque pelos três funcionários que trabalham na sala de fracionamento;
3. A matéria-prima é retirada pelo operador do misturador de capacidade de 1.000 quilogramas;
4. O operador do misturador de 1000 fraciona os ingredientes de matéria prima conforme a fórmula do produto e monta os *kits*, que são levados até o *buffer* antes do misturador de 1000;
5. Os fracionadores fracionam os ingredientes de matéria-prima conforme a fórmula do produto e montam os *kits*, que são levados até os *buffers* antes dos misturadores de 300 e 600;
6. O fracionador fraciona os ingredientes de matéria prima conforme fórmula do produto e monta os *kits*, que são levados ao 1º andar por um elevador até o *buffer* antes do misturador de 250;
7. Os operadores adicionam nos misturadores os *kits* de ingredientes, após o operador liga o equipamento para iniciar a mistura;
8. O operador do misturador de 250 retira o produto misturado com um carro transportador e leva até a sala de empacotamento;
9. O produto misturado é liberado por uma comporta para um silo que fica no 1º andar;
10. O produto é retirado do silo pelo 1º funcionário, através de uma rosca transportadora que despeja o produto misturado direto dentro da embalagem. Os pacotes preparados pesam entre 15 a 30 quilogramas. O 2º funcionário confere, em uma balança, se o peso está dentro da especificação do produto, caso contrário o colaborador corrige o peso adicionando ou retirando manualmente o produto de dentro da

embalagem. O 3º funcionário pega o pacote com o peso acertado e sela a embalagem em uma máquina de selagem, e acondiciona o saco sobre um palete de madeira formando uma pilha conforme o padrão de cada produto ou pedido;

11. O produto é retirado pelo 1º funcionário através de uma rosca transportadora que despeja o produto misturado direto dentro da embalagem. Os pacotes preparados pesam entre 0,25 e 10 quilogramas. O 2º funcionário confere, em uma balança, se o peso está dentro da especificação do produto, caso contrário o colaborador corrige o peso adicionando ou retirando manualmente o produto de dentro da embalagem. O 3º funcionário pega o pacote com o peso acertado e sela a embalagem em uma máquina de selagem com esteira. Ao final da esteira um 4º funcionário acondiciona os pacotes dentro de uma embalagem maior, sela esta embalagem em uma segunda máquina de selagem e acondiciona o saco sobre um palete de madeira formando uma pilha conforme o padrão de cada produto ou pedido;
12. O produto é retirado do carro de transporte pelo 1º funcionário com uma concha e despejado dentro da embalagem, formando pacotes de peso entre 0,25 e 10 quilogramas. O 2º funcionário confere, em uma balança, se o peso está dentro da especificação do produto, caso contrário o colaborador corrige o peso adicionando ou retirando manualmente o produto de dentro da embalagem. O 3º funcionário pega o pacote com o peso acertado e sela a embalagem em uma máquina de selagem com esteira. Ao final da esteira deste equipamento um 4º funcionário acondiciona os pacotes dentro de uma embalagem maior, sela esta embalagem em uma segunda máquina de selagem e acondiciona o saco sobre um palete de madeira, formando uma pilha conforme o padrão de cada produto ou pedido;

13. Os paletes do produto acabado são transportados com empilhadeira até a sala de pré-estocagem, onde ficam aguardando a conferência e apontamento da equipe de expedição;
14. O produto é levado para dentro da área de estocagem, e lá fica armazenado até seu carregamento.

## 4.2 Definição do *mix* de produção

Na simulação de um sistema produtivo o *mix* de produção é um fator muito importante para a tomada de decisão, sendo necessário que o sistema simulado seja realizado considerando os produtos de maior importância no sistema produtivo. Alguns autores, como Corrêa e Corrêa (2006), recomendam a utilização do critério de produtos com maior margem de lucro para definição do *mix*, entretanto nem sempre estes representam os produtos que estão em fabricação na maior parte do tempo no processo produtivo. Tanto para o projeto de *layout* como para a simulação do sistema, é importante retratar aqueles produtos que são produzidos na maior parte do tempo, por serem eles mais significativos para o entendimento do sistema real.

Para a definição do *mix* produtivo deste estudo, foram considerados todos os produtos vendidos nos últimos 12 meses, entre os períodos de julho de 2015 a junho de 2016, e realizada a média mensal dos quilogramas vendidos, ou seja, o volume vendido, sendo os produtos classificados conforme o método da curva ABC (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação ABC dos produtos produzidos no processo produtivo

Produto	Faturamento médio em kg/mês	Total por grupo ABC	% por grupo ABC
A (20KG)	43.496,00	110.493,95	19,25%
B (20KG)	39.804,00		
C (20KG)	27.193,95		
D (20KG)	20.848,00		
E (20KG)	19.372,00		

Continua...

Produto	Faturamento médio em kg/mês	Total por grupo ABC	% por grupo ABC
F (20KG)	15.748,80		
G (20KG)	14.148,00		
H (20KG)	13.270,00		
I (20KG - 5KG)	11.900,00		
J (20KG - 5KG)	10.829,70		
L (20KG - 5KG)	10.815,00	173.512,10	30,22%
M (20KG)	9.365,60		
N (20KG)	8.808,00		
O (20KG - 5KG)	8.802,00		
P (20KG)	8.140,00		
Q (20KG)	7.600,00		
R (20KG - 5KG)	7.106,00		
S (20KG - 5KG)	6.759,00		
A classe C é composta por 598 itens que no total resultam em 50,53% do mix produtivo em relação aos kg faturados da média mensal.			
	-	574.091,00	50,53%
TOTAL		858.097,05	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A tabela mostra que 19,25% dos quilogramas vendidos são representados por somente três produtos, formando a classe A. Outros quinze itens representam 30,22% e integram a classe B. Já a classe C, que representa 50,53% dos quilogramas vendidos, é formada por 598 produtos diferentes.

Para este estudo foram considerados somente os itens da classe A e B, assim totalizando 18 produtos diferentes e que representam 49,47% da média de quilogramas vendidos mensalmente pela empresa.

### 4.3 Projeto de *layout* funcional

Para a formação dos departamentos no modelo de *layout* funcional foi utilizado o *software* CORELAP. De início é necessário determinar em quantos departamentos será dividido o processo, assim como o espaço físico necessário para cada um deles. Assim, foram definidos cinco departamentos, sendo eles: o estoque, o fracionamento, a mistura e o envase. Este último foi dividido em duas partes, sendo a primeira ainda chamada de envase, e contempla as operações de retirada

do produto do silo e conferência do peso do pacote. A segunda parte foi denominada de selagem, a qual contempla a vedação da embalagem e a montagem do palete de produto acabado. Após foi levantado o espaço físico, em metros quadrados, de cada uma destas áreas considerando o espaço reservado no *layout* atual. Estas informações foram inseridas no *software* conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Formação dos departamentos produtivos

¿Cuántos departamentos quiere implantar?

	Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2
1	Estoque	155
2	Fracionamento	61
3	Misturadores	134
4	Envase	88
5	Selagem	88

Superficie Disponible :

Definición de los parámetros que determinan el peso de las relaciones.

A =	6
E =	5
I =	4
O =	3
U =	2
X =	1

El chart de relaciones se rellena asignando una de estas 6 constantes a la relación entre cada 2 departamentos. El valor de cada constante puede ser modificado en esta tabla.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Na etapa seguinte, foi classificada, por grau de importância, a relação de proximidade entre todos os cinco departamentos. Para tanto utilizou-se as letras A, E, I, O, U e X, as quais representam os graus de importância 6, 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente (Figura 18).

Figura 18 - Grau de relação de proximidade entre departamentos

¿Cuántos departamentos quiere implantar?

A=6, E=5, I=4, O=3, U=2, X=1

Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2	1	2	3	4	5
1 Estoque	155		A	E	X	X
2 Fracionamento	61			A	X	X
3 Misturadores	134				A	E
4 Envase	88					A
5 Selagem	88					

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A classificação do grau de importância foi realizada junto com o gestor da área que apontou os principais pontos a serem considerados para o melhor fluxo do processo produtivo, assim como suas restrições. Desta forma nota-se que o estoque de matéria prima tem grande importância de proximidade com o fracionamento e os misturadores, já que os dois últimos departamentos são abastecidos pelo estoque. Porém, o departamento de envase não tem qualquer necessidade de aproximação com o estoque e o fracionamento, sendo este departamento abastecido somente pelos misturadores. O mesmo acontece com a selagem, que é abastecida somente pelo envase.

Através do *software* CORELAP, calculou-se o grau de interação conforme os pesos inseridos anteriormente (Figura 19).

Figura 19 - Ordenação dos departamentos por importância

ORDENACIÓN DE LOS DEPARTAMENTOS POR IMPORTANCIA			
Orden	Nombre	TCR	Superficie m2
1.-	Misturadores	22	134
2.-	Envase	14	88
3.-	Fraccionamento	14	61
4.-	Estoque	13	155
5.-	Selagem	13	88

Solución Gráfica

☐ Calcular Iteraciones

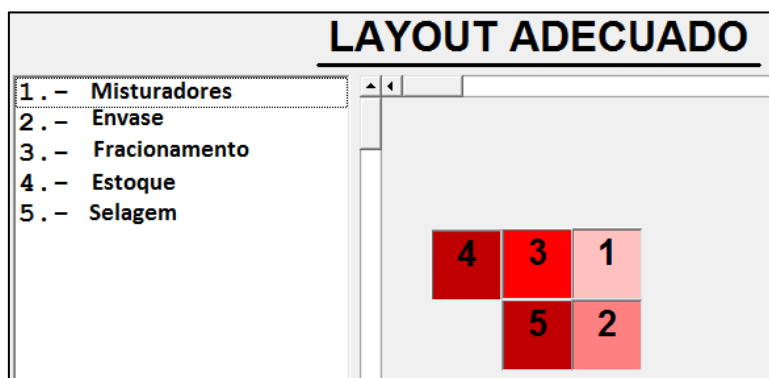
Superficie Requerida < Superficie Disponible

Superficie Requerida: 526

Superficie Disponible: 526

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Ao final o *software* apresentou o *layout* ideal com base no grau de interação calculado (Figura 20).

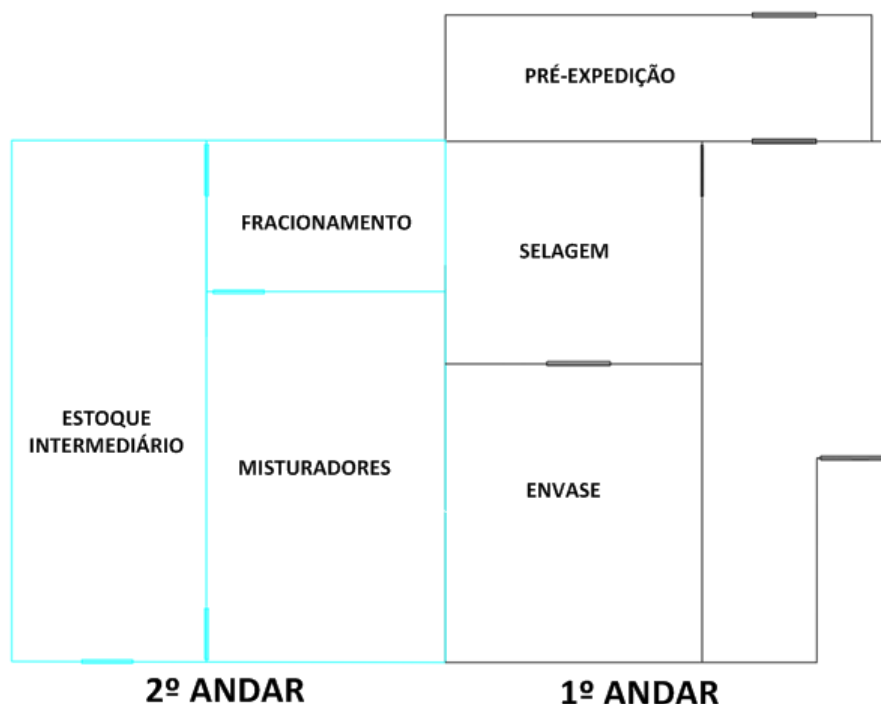
Figura 20 - Representação do *layout* ideal

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Considerando o *layout* ideal gerado pelo *software* CORELAP, foi projetado o desenho do arranjo físico do tipo funcional, conforme apresentado na Figura 21.



Figura 21 - *Layout* funcional projetado por meio do *software* CORELAP



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

No segundo andar foi mantido o estoque intermediário de matéria-prima no mesmo lugar, porém a sala de fracionamento foi retirada do centro e posicionada posteriormente aos misturadores. As duas salas destes misturadores foram unidas com o novo projeto, assim possibilitando abrigar todos os equipamentos juntos, até mesmo o misturador que ficava no primeiro andar.

No primeiro andar foi formada uma sala de envase que ficou posicionada abaixo dos misturadores, possibilitando às misturas, quando prontas, caírem nos silos. Ao lado da sala de envase ficou a sala de selagem, que possibilita a selagem dos produtos e a sua paletização. E por final a pré-estocagem, que foi mantida no mesmo lugar.

O método de planejamento de *layout* funcional com o *software* CORELAP se mostrou de fácil utilização, porém apresenta algumas limitações. Uma delas é que considera poucas variáveis, como o grau de importância de proximidade dos departamentos e seus tamanhos. Além disso, a determinação da localização dos departamentos ocorre de forma pouco objetiva, deixando a critério do usuário a

análise empírica de praticamente todas as variáveis necessárias para a definição do grau de proximidade. Além disso, o resultado do CORELAP não é necessariamente uma disposição final, sendo às vezes necessária uma análise adicional a fim de realizar modificações e adequar os departamentos dentro da topografia e das considerações estéticas a serem consideradas (DELON, 1970).

#### **4.4 Projeto de *layout* celular**

Observou-se durante o estudo que no *layout* atual a distribuição física dos equipamentos e dos postos de trabalho já atende à lógica de *layout* celular, no entanto não há uma definição clara das famílias de produtos e onde elas devem ser produzidas. Por isso, a seguir será descrita a realização das etapas da análise do fluxo de produção, para auxílio da tecnologia de grupo, e apoio na definição das famílias de produtos e na formação das células.

Utilizando o método de análise de fluxo de produção (AFP), foram identificados os departamentos dentro do setor, que consistem no estoque, fracionamento, mistura e envase. A seguir, foram levantados todos os equipamentos utilizados no processo, sendo estes marcados com o número 1 quando utilizados na produção de cada produto, conforme mostrado na Tabela 2.

Na segunda etapa, chamada de análise de grupo (AG), foi avaliada a matriz de máquinas e produtos e buscou-se o melhor agrupamento na formação de famílias para os produtos com base nos equipamentos utilizados em comum, conforme mostrado na Tabela 3.

A partir da análise de grupos (Tabela 3), notou-se a formação de quatro células a partir dos grupos de equipamentos conforme similaridade. Os produtos a granel, como os sacos de 20 quilogramas, devem ser produzidos em duas das quatro células, na célula 600 e na célula 1000. Já os produtos fracionados, ou seja, em pacotes de cinco quilogramas, devem ser produzidos na célula 250 e na célula 300, assim simplificando o fluxo de produção.

Tabela 2 - Matriz de máquinas e produtos

Produto	Fracionamento	Misturador 250kg	Misturador 300kg	Misturador 600kg	Misturador 1.000kg	Balança Grande	Balança Pequena	Máq. Solda Intermitente	Máq. Solda Contínua
A (20KG)					1	1		1	
B (20KG)					1	1		1	
C (20KG)	1			1		1		1	
D (20KG)					1	1		1	
E (20KG)	1			1		1		1	
F (20KG)	1			1		1		1	
G (20KG)	1			1		1		1	
H (20KG)	1			1		1		1	
I (20KG - 5KG)	1		1				1	1	1
J (20KG - 5KG)	1	1					1	1	1
L (20KG - 5KG)	1	1					1	1	1
M (20KG)					1	1		1	
N (20KG)					1	1		1	
O (20KG - 5KG)	1		1				1	1	1
P (20KG)	1				1	1		1	
Q (20KG)					1	1		1	
R (20KG - 5KG)	1	1					1	1	1
S (20KG - 5KG)	1		1				1	1	1

Fonte: Elaborador pelo autor (2016).

Tabela 3 - Análise de grupos

Produto	Fracionamento	Misturador 250kg	Misturador 300kg	Misturador 600kg	Misturador 1.000kg	Balança Grande	Balança Pequena	Máq. Solda Intermitente	Máq. Solda Contínua
A (20KG)					1	1		1	
B (20KG)					1	1		1	
D (20KG)					1	1		1	
M (20KG)					1	1		1	
N (20KG)					1	1		1	
P (20KG)					1	1		1	
Q (20KG)					1	1		1	
C (20KG)	1			1		1		1	
E (20KG)	1			1		1		1	
F (20KG)	1			1		1		1	
G (20KG)	1			1		1		1	
H (20KG)	1			1		1		1	
I (20KG - 5KG)	1		1				1	1	1
O (20KG - 5KG)	1		1				1	1	1
S (20KG - 5KG)	1		1				1	1	1
J (20KG - 5KG)	1	1					1	1	1
L (20KG - 5KG)	1	1					1	1	1
R (20KG - 5KG)	1	1					1	1	1

Fonte: Elaborador pelo autor (2016).

Considerando que a disposição atual dos equipamentos atende o *layout* celular, foi mantido para o projeto o mesmo posicionamento, porém, foi revista a necessidade de cada um dos equipamentos dado que a tecnologia de grupos definiu as células dedicadas para cada um dos dois principais tipos de produtos: sacos a granel de 20 quilogramas e pacotes fracionados de 5 quilogramas. Desta forma não há alteração no arranjo físico e sim na padronização dos fluxos de processo na produção de cada tipo de produto.

Estes resultados mostram que a aplicação do AFP é uma técnica de baixo investimento, de utilização imediata e com resultados em curto prazo, como também já demonstrou outro estudo (Clímaco, 2003). Outro ponto observado no presente estudo foram os baixos requisitos para sua aplicação, sendo uma técnica de simples utilização e de fácil compreensão para os usuários.

#### **4.5 Simulação dos modelos computacionais**

Nas seções a seguir será descrita a realização das etapas de simulações computacionais para a análise dos *layouts*.

##### **4.5.1 Modelagem dos dados de entrada**

Os dados de entrada para a construção dos modelos foram levantados por meio de coleta de tempos no processo produtivo. Foi coletada a quantidade de 40 amostras de tempos para cada operação, número suficiente para validação do modelo computacional na etapa seguinte.

Após coletados, os tempos foram analisados no *software* StatFit®. Nele, foi analisado o grau de dispersão das amostras, construindo um diagrama *Box Plot* para cada grupo de amostras, a fim de eliminar os valores discrepantes (*outliers*). Após, o *software* calculou qual a distribuição probabilística mais adequada para cada uma das operações acompanhadas, conforme representado na Tabela 4. Nas linhas estão as operações acompanhadas e nas colunas os resultados obtidos, em segundos.

Tabela 4 – Resultados estatísticos descritivos dos tempos das operações

Operação	Média (s)	Mediana (s)	Moda (s)	Desvio Padrão (s)	Distribuição Probabilística
Fracionamento dos kits	484,87	487,00	467,00	93,29	LogLogistic
Adição de ingredientes no misturador 250 litros	313,24	313,00	309,00	14,35	Logistic
Adição de ingredientes no misturador 300 litros	409,26	411,50	396,00	16,64	Beta
Adição de ingredientes no misturador 600 litros	1608,72	1610,00	1586,00	16,04	Beta
Adição de ingredientes no misturador 1000 litros	812,18	813,50	802,00	15,07	Beta
Encher pacote	5,66	6,00	6,00	1,17	Normal
Pesar pacote de 5kg	10,76	11,00	11,00	2,00	Extreme Value EB
Pesar saco de 20kg	26,85	27,00	24,00	2,80	Johnson SB
Selar pacote de 5kg	5,94	6,00	5,00	0,84	Logistic
Selar saco de 20kg	5,24	5,00	4,00	2,08	Inverse Weibull
Paletizar pacote de 5kg	6,68	7,00	6,00	0,91	Weibull
Paletizar saco de 20kg	5,08	5,00	4,00	1,49	Inverse Gaussian

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

É importante ressaltar que a análise da distribuição probabilística foi realizada considerando a distribuição contínua, já que os dados consistem em medidas de tempo.

#### 4.5.2 Validação do modelo computacional

Na modelagem das linhas de manufatura de misturas, a preocupação de que o modelo refletisse o sistema real norteou a realizar primeiramente a modelagem do

sistema atual de trabalho, a fim de validar os tempos de processamento, lógica de operações e lógicas de roteamento.

Buscou-se validar o modelo através da comparação dos resultados de produção de cada uma das 4 linhas produtivas em relação aos resultados de produção da simulação do sistema atual (Tabela 5).

Tabela 5 - Cálculo de produção planejada das linhas

		Linha Produtiva			
		Linha 1.000	Linha 600	Linha 300	Linha 250
A	Tempo disponível (minutos)	528	528	528	528
B	Produção em kg/minuto no gargalo	55,55	33,33	16,67	13,89
C (AxB)	Produção Nominal (kg)	29.330,40	17.600,00	8.800,00	7.333,33
D	Eficiência da linha	61%	62%	67%	67%
E (CxD)	Produção Planejada (kg)	17.891,54	10.912,00	5.896,00	4.913,33

Fonte: Elaborada pelo autor (2016).

Observou-se que o gargalo produtivo com este *mix* de produtos é a operação de adição e mistura dos ingredientes. Seu tempo disponível, em um turno, é de 528 minutos, este dividido pelo tempo de operação de cada ciclo, 18 minutos. Após, este resultado foi multiplicado pela capacidade de cada um dos misturadores: 250, 300, 600 e 1000 quilogramas. Por fim, este valor foi multiplicado pelo índice histórico de eficiência de cada uma das linhas, assim resultando na produção média/dia de cada uma delas.

Após definida a produção planejada para cada linha, estes resultados foram comparados com o sistema atual simulado. Desta forma foram verificadas divergências entre os dois sistemas. Entre as divergências mais marcantes estão as das linhas 250, 300 e 600, que ultrapassam em até 62% a quantidade produzida. Isto foi observado a partir de nova análise dos dados de entrada, onde foi identificada uma divergência de tempos para a operação de adição dos ingredientes

em cada um dos misturadores. Até então havia sido considerado o mesmo tempo para a adição de ingredientes em todos os misturadores, o que não era correto. Coletando os tempos de adição individualmente para cada misturador e tratados os dados, foi realizada uma nova simulação com os tempos atualizados conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação entre a produção média e a produção simulada

		Linha Produtiva			
		Linha 1000	Linha 600	Linha 300	Linha 250
E	Produção Planejada (kg)	17.891,54	10.912,00	5.896,00	4.913,33
F	Produção Simulada (kg)	17.920,00	10.800,00	5.725,00	4.805,00
G (F/E-1)	Variação	0,16%	-1,03%	-2,90%	-2,20%

Fonte: Elaborada pelo autor (2016).

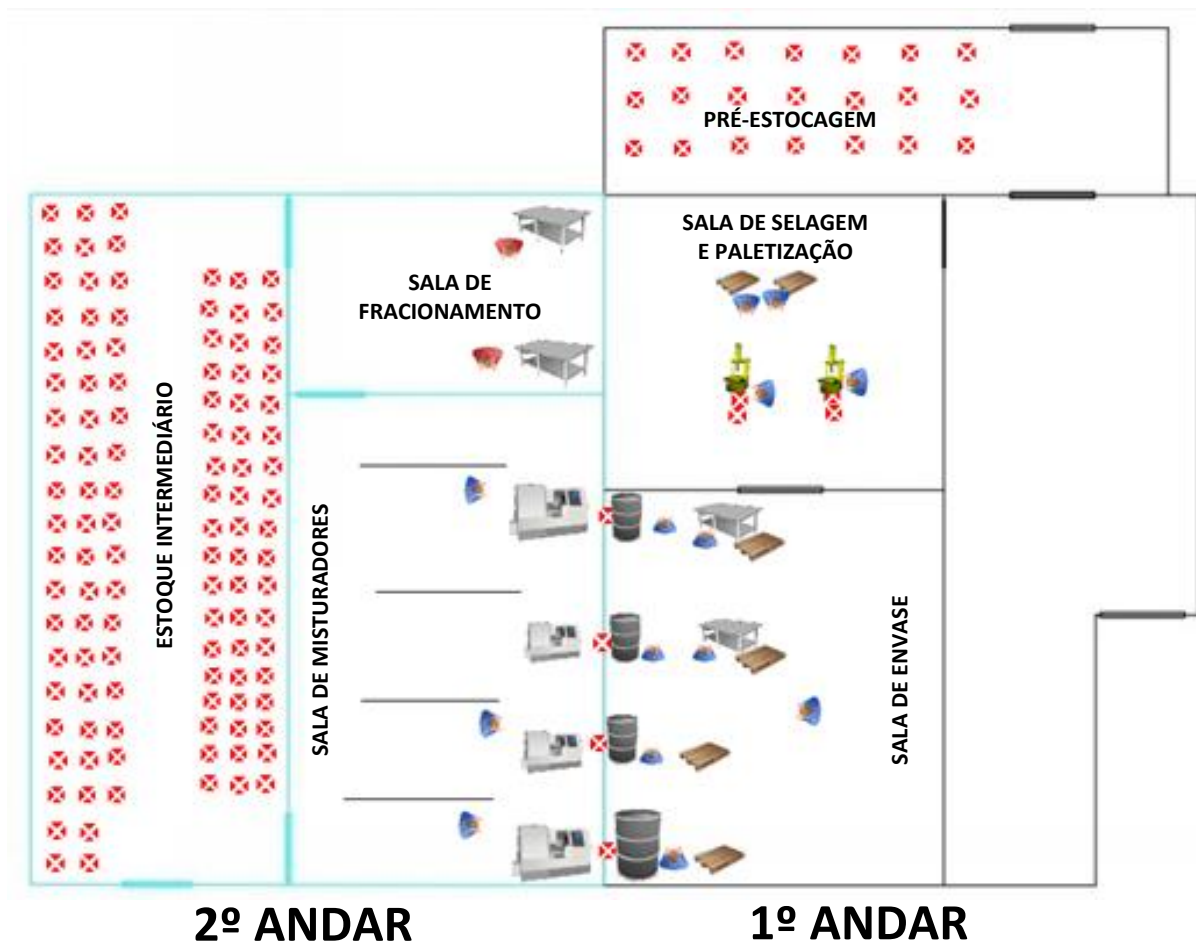
A partir desta segunda comparação mostrou-se que as variações entre a produção planejada e a produção simulada ficaram bastante reduzidas em relação à primeira comparação. Considerando estes novos índices, foi validado o sistema modelado.

#### 4.5.3 Construção e simulação do modelo computacional do *layout* Funcional

A construção do modelo computacional do *layout* funcional foi realizada através do *software* ProModel®, conforme é mostrado na Figura 22.



Figura 22 - Modelo computacional do *layout* funcional



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme está representado na figura, no departamento de fracionamento ficaram dois funcionários realizando a operação de fracionamento de ingredientes para todos os quatro misturadores, os quais agora estão agrupados juntos na mesma sala.

Nos departamento de mistura, os misturadores ficaram na ordem de baixo para cima na Figura 20: misturador de 1000 litros, misturador de 600 litros, misturador de 300 litros e misturador de 250 litros. Assim, foi mantido um operador exclusivo para os misturadores de 600 e 1000 litros, devido seu maior tempo de adição dos ingredientes, que é realizado pelo operador. Já nos misturadores de 250 e 300 litros ficou um operador operando ambos, devido seu tempo inferior de adição de ingredientes, assim não influenciando na redução da produção.

Silva e Rentes (2012) sugerem que produtos que compartilham uma mesma linha, porém, com tempos de ciclo diferentes, sejam incluídos em famílias diferentes. Assim, no sistema simulado, foi considerada a produção exclusiva dos produtos fracionados - pacotes de 5 quilogramas - nos misturadores de 250 e 300 litros. Os produtos a granel - sacos de 20 quilogramas - produção exclusiva nos misturadores de 600 e 1000 litros. Esta definição foi considerada importante para o melhor sincronismo de produção, possibilitando a redução de *setup*, no número de equipamentos e na baixa variabilidade nos tempos de ciclo.

Nos silos localizados abaixo dos misturadores, foi realizado um sistema de roteamento das misturas, permitindo com que a mistura concluída possa ser enviada para qualquer um dos dois silos. Por exemplo, a mistura concluída no misturador de 1000 litros pode ser enviada tanto para o silo localizado abaixo do misturador de 1000 litros, como para o silo localizado abaixo do misturador de 600 litros, permitindo assim maior sincronia de produção e aumentando a ocupação do departamento de envase. O mesmo acontece com os misturadores de 250 e 300 litros.

No departamento de envase, foram montadas em frente de cada silo centros de envase conforme a característica de empacotamento de cada produto, a granel ou fracionado. Em frente de cada um dos silos do misturador de 250 e 300 litros foram considerados dois funcionários, um para a retirada do produto do silo e outro para a pesagem e colocação do produto em um palete de armazenamento. Em frente de cada um dos silos dos misturadores de 600 e 1000 litros foram considerados um funcionário, que retira o produto do silo, acerta o peso na embalagem e coloca o produto em um palete de armazenamento. Para a movimentação destes paletes de armazenamento para o próximo departamento foi considerado um funcionário, que exclusivamente realiza o transporte dos paletes de produtos armazenados para o departamento de selagem.

No departamento de selagem, foram considerados dois centros de selagem, cada uma com duas seladoras contínuas, duas seladoras intermitentes e um funcionário para realizar as operações de selagem. Após foi considerado dois locais de paletização, um para a paletização de produtos a granel e outro para paletização

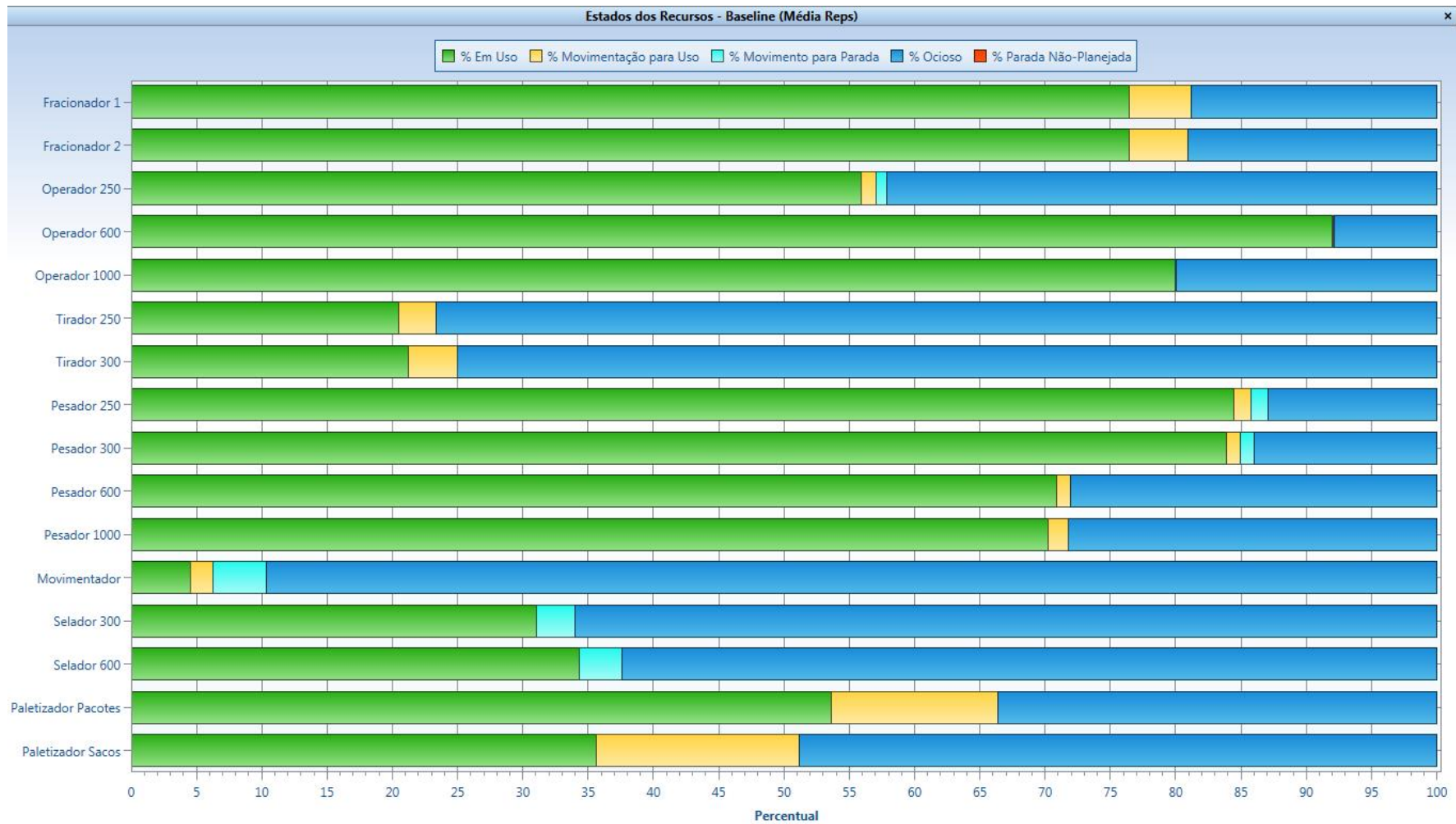
de produtos fracionados, assim mantendo um funcionário para cada local para realizar suas operações.

O funcionário que realiza o transporte deixa o palete de produtos em frente do centro de selagem que estiver disponível primeiro e retorna ao seu departamento. Os centros de selagem realizam suas operações que por fim entregam o produto selado aos respectivos locais de paletização, que após montados os paletes, são retirados pela empilhadeira e levados até a pré-estocagem.

Para a validação do quadro de funcionários para esta modelagem, o sistema simulado foi apresentado aos gestores do setor e, junto, foram avaliados os resultados obtidos das análises dos recursos fornecidas pelo *software* ProModel® (Figura 23).

O rearranjo dos funcionários (recursos) no sistema de *layout* funcional tentou a máxima ocupação dos funcionários para permitir a sua redução sem a diminuição da quantidade produzida do sistema atual. Assim, a Figura 23 mostra que nenhum dos 16 funcionários ficou totalmente em uso, de forma que, nenhum deles restringirá a produção do sistema produtivo em relação ao sistema atual.

Figura 23 - Análise de recursos do *layout* funcional

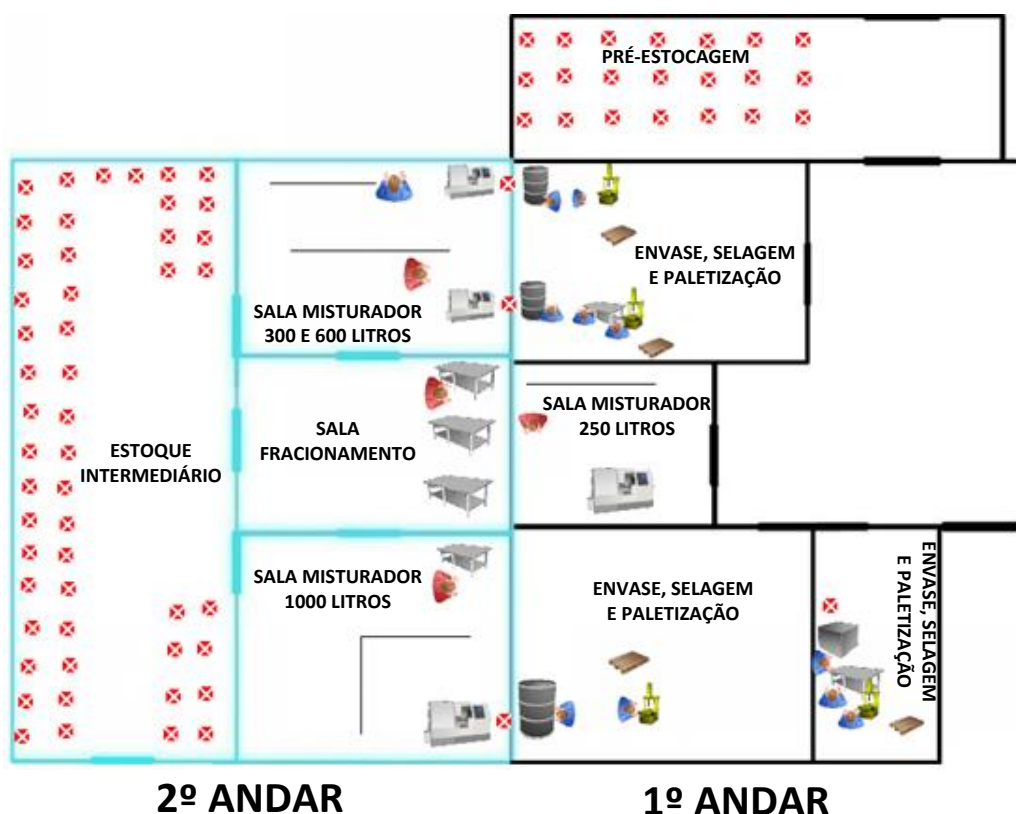


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

#### 4.5.6 Construção e simulação do modelo computacional do *layout* celular

A construção do modelo computacional do *layout* celular foi realizada considerando a mesma distribuição dos equipamentos do sistema atual do setor, porém houve mudanças no fluxo dos produtos produzidos e na quantidade de equipamentos em cada célula (Figura 24).

Figura 24 - Modelo computacional do *layout* celular



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Foram destinadas as células dos misturadores de 250 e 300 litros para a produção exclusiva de produtos fracionados, pacotes de 5 quilogramas, assim estas, contemplam um maior número de equipamentos necessários para a produção deste tipo de produto. Já as células dos misturadores de 600 e 1000 litros, foram definidas com a produção exclusiva de produtos a granel, sacos de 20 quilogramas, tendo um número menor de equipamentos necessários em relação às células de produtos fracionados.

Neste modelo foram realizados diversos rearranjos do quadro de funcionários, os quais serão descritos a seguir. A ocupação destes funcionários, em relação ao modelo atual, pode ser conferida na Figura 25.

No fracionamento foram mantidos os três centros de trabalho, porém foi conservado apenas um funcionário fixo, realizando esta operação de fracionamento exclusivamente para o misturador de 600 litros, isto devido o operador desta célula já estar sobrecarregado, tornando-se gargalo do sistema produtivo. Os três centros foram mantidos, isto devido definição de que o fracionamento dos ingredientes do misturador de 250 e 300 litros serão realizados pelos seus respectivos operadores, assim os mesmos utilizam os centros de fracionamento para esta operação. O operador do misturador de 1000 litros continua realizando o fracionamento dos seus ingredientes no seu centro de fracionamento localizado na sala onde o misturador esta localizado.

Tubino (1999), salienta que há diversas formas de células de manufatura e elas podem otimizar o fluxo de pessoas e componentes assim como reduzir o tempo de movimentação. Seguindo esta lógica, no primeiro andar, foi reduzido um funcionário de cada célula de envase. O funcionário que realiza a operação de selagem do produto também foi a ele atribuído a operação de paletização do produto, sendo permitido devido a aproximação entre os dois centros produtivos, a seladora e o palete.

Para a validação do quadro de funcionários para esta modelagem, o sistema simulado foi apresentado aos gestores do setor e, junto, foram avaliados os resultados obtidos das análises dos recursos fornecidas pelo *software* ProModel® (Figura 25).

Figura 25 - Análise de recursos do *layout* celular



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O rearranjo dos funcionários (recursos) no sistema de *layout* celular, assim como no *layout* funcional, tentou a máxima ocupação dos funcionários para permitir a sua redução sem a diminuição da quantidade produzida do sistema atual. Assim, a Figura 25 mostra que dos 15 funcionários, com exceção do operador do misturador de 600 litros, não ficaram totalmente em uso, desta forma, nenhum deles restringirá a produção do sistema produtivo em relação ao sistema atual.

#### 4.6 Comparação entre os *layouts* sob a ótica dos indicadores da TOC

Depois de realizado as simulações dos dois modelos computacionais, pode-se utilizar os dados obtidos no auxílio ao cálculo dos três indicadores operacionais. Assim, as sessões a seguir abordam uma comparação entre os *layouts* sob a ótica dos indicadores da TOC.

##### 4.6.1 Cálculo do indicador de Investimentos

O indicador de investimento é formado por dois grupos: o de matérias primas e dos investimentos. Para este estudo optou-se avaliar somente o segundo grupo, para isso foram listados todos os equipamentos do setor, e considerado o valor original de cada deles (Tabela 7).

Tabela 7 - Relação de equipamentos *versus* valor original de compra

Equipamento	Valor original de compra
Misturador 1000 litros	R\$ 171.634
Misturador 600 litros	R\$ 79.790
Misturador 300 litros	R\$ 60.374
Misturador 250 litros	R\$ 28.863
Balança toledo inox (50kg)	R\$ 6.591
Balança alfa mod. 3101c 6 kg	R\$ 5.988
Carro auxiliar em aço inox	R\$ 3.857
Mesa inox 304 1900 x 650 x 500 mm	R\$ 3.372
Seladora contínua com datador	R\$ 24.024
Seladora mca n/c mod ws6d	R\$ 9.457
Silo de descarga em inox	R\$ 27.588

Continua...



Equipamento	Valor original de compra	
Utensílios de uso para dosagem	R\$	523
Transportador vector	R\$	2.743
Paleteira palettrans 3000kg	R\$	967

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Com as simulações foi possível determinar a quantidade de equipamentos necessária para cada um dos modelos simulados. De forma que se pode definir o valor de investimentos para cada um dos três modelos e fazer um comparativo de entre eles (Tabela 8).

Tabela 8 - Investimentos dos *layouts* atual, funcional e celular

Equipamento	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
Misturador 1000 litros	R\$	171.634	R\$	171.634	R\$	171.634
Misturador 600 litros	R\$	79.790	R\$	79.790	R\$	79.790
Misturador 300 litros	R\$	60.374	R\$	60.374	R\$	60.374
Misturador 250 litros	R\$	28.863	R\$	28.863	R\$	28.863
Balança toledo inox (50kg)	R\$	52.729	R\$	39.547	R\$	52.729
Balança alfa mod. 3101c 6 kg	R\$	47.903	R\$	23.951	R\$	35.927
Carro auxiliar em aço inox	R\$	80.994	R\$	77.137	R\$	80.994
Mesa inox 1900 x 650 x 500 mm	R\$	20.230	R\$	13.487	R\$	20.230
Seladora contínua	R\$	96.096	R\$	48.048	R\$	48.048
Seladora mca n/c	R\$	37.830	R\$	18.915	R\$	37.830
Silo de descarga em inox	R\$	82.763	R\$	110.351	R\$	82.763
Utensílios para dosagem	R\$	2.092	R\$	2.092	R\$	2.092
Transportador vector	R\$	2.743	R\$	2.743	R\$	2.743
Paleteira palettrans 3000kg	R\$	3.868	R\$	2.901	R\$	3.868
Total	R\$	767.910	R\$	679.834	R\$	707.886

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

No caso deste indicador, sempre se busca sua redução, assim mostrando que o *layout* que apresenta o melhor resultado em relação aos demais é o funcional devido seu menor valor. Isto, devido à necessidade de menor quantidade de determinados equipamentos em relação aos demais *layouts*.

#### 4.6.2 Cálculo do indicador de Despesas Operacionais

Para o cálculo do indicador de despesas operacionais, considerando que todos os equipamentos do setor produtivo já foram levantados, foi verificado junto ao setor de contabilidade o valor de depreciação mensal dos mesmos (Tabela 9).

Tabela 9 - Relação de equipamentos *versus* valor de depreciação mensal

Equipamento	Valor de depreciação mensal	
Misturador 1000 litros	R\$	2.382
Misturador 600 litros	R\$	938
Misturador 300 litros	R\$	588
Misturador 250 litros	R\$	378
Balança toledo inox (50kg)	R\$	84
Balança alfa mod. 3101c 6 kg	R\$	74
Carro auxiliar em aço inox	R\$	17
Mesa inox 1900 x 650 x 500 mm	R\$	40
Seladora contínua	R\$	424
Seladora mca n/c	R\$	135
Silo de descarga em inox	R\$	122
Utensílios para dosagem	R\$	96
Transportador vector	R\$	188
Paleteira palettrans 3000kg	R\$	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Considerando a quantidade de equipamentos para cada um dos três *layouts*, foi possível calcular o valor de depreciação para cada um deles conforme é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Valor mensal de depreciação dos *layouts* atual, funcional e celular

Equipamento	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
Misturador 1000 litros	R\$	2.382	R\$	2.382	R\$	2.382
Misturador 600 litros	R\$	938	R\$	938	R\$	938
Misturador 300 litros	R\$	588	R\$	588	R\$	588
Misturador 250 litros	R\$	378	R\$	378	R\$	378
Balança toledo inox (50kg)	R\$	673	R\$	505	R\$	673
Balança alfa mod. 3101c 6 kg	R\$	591	R\$	296	R\$	443
Carro auxiliar em aço inox	R\$	358	R\$	341	R\$	358

Continua...

Equipamento	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
Mesa inox 1900 x 650 x 500 mm	R\$	242	R\$	161	R\$	242
Seladora contínua	R\$	1.696	R\$	848	R\$	848
Seladora mca n/c	R\$	538	R\$	269	R\$	538
Silo de descarga em inox	R\$	367	R\$	489	R\$	367
Utensílios para dosagem	R\$	386	R\$	386	R\$	386
Transportador vector	R\$	188	R\$	188	R\$	188
Paleteira palettrans 3000kg	R\$	26	R\$	20	R\$	26
Total	R\$	9.351	R\$	7.788	R\$	8.355

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Além da soma da depreciação, para o cálculo do indicador da DO também foi necessário quantificar a soma das despesas operacionais mensais de cada *layout* (Tabela 11). Estas despesas são formadas por quatro grupos:

- Pessoal direto: é constituído de salário base, adicionais e prêmios, férias, 13<sup>a</sup> salário, contribuições ao FGTS, contribuições ao INSS, alimentação, plano de saúde, transporte de funcionários, custas trabalhistas, vestuário e equipamentos de segurança;
- Gastos indiretos: é formado por energia elétrica e materiais auxiliares de produção;
- Materiais indiretos: é composto por manutenção e máquinas e equipamentos, manutenção de instalações, material de escritório e material de limpeza;
- Gastos indiretos: formado por seguros de prédios, prestação de serviços e depreciação.

Tabela 11 - Despesas operacionais mensais dos *layouts* atual, funcional e celular

	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
Pessoal direto	R\$	121.267	R\$	92.394	R\$	86.619
Gastos diretos	R\$	9.365	R\$	9.365	R\$	9.365
Materiais indiretos	R\$	22.223	R\$	22.223	R\$	22.223
Gastos indiretos	R\$	410	R\$	410	R\$	410
Total	R\$	153.266	R\$	124.393	R\$	118.618

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Normalmente a depreciação é considerada dentro dos gastos indiretos, mas para fins de avaliação para diferentes cenários ela foi calculada em separado (Tabela 10 e 11). Considerando as despesas operacionais do modelo atual, as despesas com pessoal direto foram divididas pelo número de funcionários do modelo, e assim, multiplicado pelo número definido em cada um dos dois modelos propostos, ou seja, 16 funcionários no modelo funcional e 15 funcionários no modelo celular. Seus resultados juntos com as demais despesas são apresentados na Tabela 12.

Para calcular o resultado final do indicador despesas operacionais da TOC, foram somados os valores de depreciação total com os valores de despesas operacionais de cada *layout* (Tabela 12).

Tabela 12 - Cálculo do indicador de despesas operacionais da TOC

	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
Depreciação	R\$	9.351	R\$	7.788	R\$	8.355
Despesas Operacionais	R\$	153.266	R\$	124.393	R\$	118.618
Total	R\$	162.617	R\$	132.181	R\$	126.973

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O indicador de despesas operacionais da TOC assim como do indicador de Investimentos, busca-se sua redução, por tanto o *layout* que apresenta seu melhor resultado, seguindo esta lógica, é o celular. Isto se deve principalmente por este trabalhar com uma quantidade menor de funcionários em relação aos demais *layouts*.

#### 4.6.3 Cálculo do indicador de Ganho

Considerando que a capacidade produtiva do setor estava próxima ao limite, mostra que o indicador de desempenho de ganho, neste caso, é o mais importante na análise de *layout*. Isto vem de encontro ao que é preconizado pela TOC, onde o indicador ganho (G) tem maior importância na escala de prioridades (GOLDRATT, 1996).

Para o cálculo do indicador operacional de Ganho, foram levantados os preços de venda (Pv) dos produtos do *mix* definido, e seus custos totalmente

variáveis (CTV), ou seja, os custos de matéria-prima, para o cálculo do ganho unitário (Gu) de cada produto conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo do ganho unitário do produto

Produto	A Pv	B CTV	C = A - B Gu
A (20KG)	R\$ 5,00	R\$ 4,38	R\$ 0,62
B (20KG)	R\$ 8,15	R\$ 7,47	R\$ 0,68
C (20KG)	R\$ 6,50	R\$ 5,78	R\$ 0,72
D (20KG)	R\$ 13,60	R\$ 12,15	R\$ 1,45
E (20KG)	R\$ 1,65	R\$ 1,21	R\$ 0,44
F (20KG)	R\$ 3,00	R\$ 2,61	R\$ 0,39
G (20KG)	R\$ 10,00	R\$ 9,24	R\$ 0,76
H (20KG)	R\$ 5,75	R\$ 5,23	R\$ 0,52
I (20KG - 5KG)	R\$ 2,60	R\$ 2,05	R\$ 0,55
J (20KG - 5KG)	R\$ 2,55	R\$ 2,10	R\$ 0,45
L (20KG - 5KG)	R\$ 4,20	R\$ 3,49	R\$ 0,71
M (20KG)	R\$ 6,50	R\$ 5,53	R\$ 0,97
N (20KG)	R\$ 5,35	R\$ 4,84	R\$ 0,51
O (20KG - 5KG)	R\$ 2,80	R\$ 2,36	R\$ 0,44
P (20KG)	R\$ 7,20	R\$ 6,75	R\$ 0,45
Q (20KG)	R\$ 7,25	R\$ 6,75	R\$ 0,50
R (20KG - 5KG)	R\$ 8,50	R\$ 7,76	R\$ 0,74
S (20KG - 5KG)	R\$ 5,90	R\$ 5,22	R\$ 0,68

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Após, foi necessário determinar a quantidade produzida de cada produto, conforme o cálculo a seguir (Equação 7). Para isso, foram utilizados os dados da produção média (Tabela 5), para o *layout* atual. Já para os *layouts* funcional e celular, foram utilizados os resultados obtidos com a simulação de produção. A quantidade total produzida de cada produto pode ser conferida na Tabela 14.

$$Q_x = P_x \cdot T_y \quad (7)$$

Em que:

( $Q_x$ ) é a quantidade produzida em quilogramas dos produtos nos *layouts* atual, funcional ou celular;

( $P_x$ ) é a proporção percentual do produto;

( $T_y$ ) é a quantidade total em quilogramas produzida no *layout* atual, funcional ou celular.

Tabela 14 - Quantidade produzida nos *layouts* atual, funcional e celular

Produto	Proporção	<i>Layout</i> Atual (kg/dia)	<i>Layout</i> Funcional (kg/dia)	<i>Layout</i> Celular (kg/dia)
A (20KG)	15,32%	6.067	6.889	6.124
B (20KG)	14,02%	5.552	6.304	5.605
C (20KG)	9,58%	3.793	4.307	3.829
D (20KG)	7,34%	2.908	3.302	2.935
E (20KG)	6,82%	2.702	3.068	2.728
F (20KG)	5,55%	2.197	2.494	2.217
G (20KG)	4,98%	1.973	2.241	1.992
H (20KG)	4,67%	1.851	2.102	1.868
I (20KG - 5KG)	4,19%	1.660	1.885	1.676
J (20KG - 5KG)	3,81%	1.510	1.715	1.525
L (20KG - 5KG)	3,81%	1.508	1.713	1.523
M (20KG)	3,30%	1.306	1.483	1.319
N (20KG)	3,10%	1.229	1.395	1.240
O (20KG - 5KG)	3,10%	1.228	1.394	1.239
P (20KG)	2,87%	1.135	1.289	1.146
Q (20KG)	2,68%	1.060	1.204	1.070
R (20KG - 5KG)	2,50%	991	1.125	1.001
S (20KG - 5KG)	2,38%	943	1.070	952
Total	100,00%	39.612	44.981	39.989

Fonte: Elaborador pelo autor (2016).

Após definido a quantidade para cada produto e o ganho unitário de cada um deles, foi calculado o ganho total dos produtos e assim o ganho total de cada *layout*, conforme equação 1 e 2, multiplicando a quantidade produzida em quilogramas por dia com o ganho unitário do produto (Tabela 15).

Tabela 15 - Ganho total de cada produto nos *layouts* atual, funcional e celular

Produto	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
A (20KG)	R\$	3.761	R\$	4.225	R\$	3.797
B (20KG)	R\$	3.775	R\$	4.241	R\$	3.775
C (20KG)	R\$	2.731	R\$	3.068	R\$	2.731
D (20KG)	R\$	4.216	R\$	4.737	R\$	4.216
E (20KG)	R\$	1.189	R\$	1.336	R\$	1.189
F (20KG)	R\$	857	R\$	962	R\$	857
G (20KG)	R\$	1.500	R\$	1.685	R\$	1.500
H (20KG)	R\$	962	R\$	1.081	R\$	962
I (20KG - 5KG)	R\$	913	R\$	1.026	R\$	913
J (20KG - 5KG)	R\$	680	R\$	764	R\$	680
L (20KG - 5KG)	R\$	1.071	R\$	1.203	R\$	1.071

Continua...

Produto	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
M (20KG)	R\$	1.267	R\$	1.423	R\$	1.267
N (20KG)	R\$	627	R\$	704	R\$	627
O (20KG - 5KG)	R\$	540	R\$	607	R\$	540
P (20KG)	R\$	511	R\$	574	R\$	511
Q (20KG)	R\$	530	R\$	595	R\$	530
R (20KG - 5KG)	R\$	733	R\$	824	R\$	733
S (20KG - 5KG)	R\$	641	R\$	720	R\$	641
Total	R\$	26.504	R\$	29.775	R\$	26.540

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O indicador de ganho tem como lógica dentro da TOC quanto maior melhor, por isso o *layout* que tem o maior valor é o funcional, os outros dois têm praticamente o mesmo valor de ganho.

Ao final podemos ver o resultado dos três indicadores operacionais da TOC, na sequência do seu grau de prioridade sob a ótica da TOC, de cada um dos três *layouts* além da lógica do indicador, de forma que quanto há o sinal de subtração a lógica do indicador é quanto menor melhor e quando há o sinal de soma, a lógica é quanto maior melhor (Tabela 16).

Tabela 16 - Resultados dos indicadores operacionais da TOC para os *layouts* atual, funcional e celular

Lógica do Indicador	Indicador	<i>Layout</i> Atual		<i>Layout</i> Funcional		<i>Layout</i> Celular	
+	Ganho (G)	R\$	26.504	R\$	29.775	R\$	26.540
-	Investimento (I)	R\$	767.910	R\$	679.834	R\$	707.886
-	Despesa Operacional (DO)	R\$	162.617	R\$	132.181	R\$	126.973

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme a Tabela 17 pode-se ver que o indicador de ganho, considerando sua lógica de quanto maior melhor, mostrou que o *layout* funcional teve um desempenho superior aos demais modelos. Com um ganho diário de 3.271 reais, ou seja, 12,34% em relação ao modelo atual. O *layout* celular praticamente não obteve ganho em relação ao modelo atual. O indicador de investimento, seguindo sua lógica de quanto menor melhor mostrou que o *layout* funcional também obteve o melhor desempenho, ficando 88.076 reais, isto é, 11,47% abaixo em relação ao modelo atual. Já o *layout* celular ficou 60.024 reais, ou seja, 7,82% abaixo em relação ao

modelo atual. Avaliando o indicador de despesas operacionais, os dois *layouts* propostos ficaram abaixo do modelo atual, sendo o celular o com melhor desempenho seguindo a lógica de quanto menor melhor, com 35.644 reais abaixo do modelo atual, ou seja 21,96%. O *layout* funcional não ficou muito longe disso, obtendo 30.436 reais abaixo do modelo atual, ou seja 18,71%.



## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho realizou-se a comparação entre o *layout* funcional e celular, por meio da simulação de eventos discretos, e apresentação dos melhores resultados com os indicadores operacionais da Teoria das Restrições (TOC) - ganho, investimentos e despesas operacionais.

Através dos resultados gerados pelas simulações, obtiveram-se as informações necessárias para realizar o cálculo dos indicadores operacionais da TOC, que auxiliaram na avaliação do melhor *layout* indicado a empresa. Assim, ao avaliar de forma geral o resultado dos três indicadores e respeitando o grau de prioridade de cada um deles, constatou-se que o *layout* funcional apresentou o melhor desempenho, pois obteve melhores resultados nos dois indicadores de maior prioridade, ganho e investimento.

Foi percebido que o resultado do indicador de ganho foi superior no *layout* funcional devido ao aumento da flexibilidade do fluxo entre os departamentos produtivos, de forma que os produtos manufaturados obtiveram a liberdade de seguir para etapa seguinte, a qual equipamento ou recurso estivesse liberado primeiro, sem se prender em um fluxo único no processo. Isto possibilitou a maior utilização dos equipamentos e dos recursos, assim, diminuindo a ociosidade dos mesmos e os tempos de espera.

A flexibilidade entre os departamentos gerada pelo *layout* funcional também impactou na utilização mais balanceada dos equipamentos e assim possibilitou a

redução destes. Desta forma o indicador de investimentos do *layout* funcional apresentou um desempenho superior em relação aos demais.

Tanto no *layout* funcional como no celular, foi obtida uma redução considerável dos recursos, ou seja, no número de funcionários necessários, o que impactou diretamente no indicador de despesas operacionais. Isto foi alcançado através da reorganização do fluxo dos produtos a granel e fracionados através das operações necessárias para sua manufatura, destinando a produção exclusiva em determinados equipamentos, para cada um deles, assim permitindo maior balanceamento dos recursos conforme a necessidade de cada produto.

Assim percebe-se que a simulação é uma ferramenta versátil sob a possibilidade de aplicações variadas no campo produtivo. Sua aplicação permitiu a avaliação dos impactos gerados pelas alterações propostas, tais como: rearranjo do posicionamento físico dos equipamentos e do quadro funcional e redimensionamento da quantidade dos mesmos.

Os modelos simulados possibilitaram avaliar o nível de produção que pode ser atingido com os diferentes *layouts*, diante dos recursos disponibilizados e das restrições consideradas. Também permitiram a otimização das variáveis, reduzindo os erros de avaliação cometidos ao se analisar taxas médias de eventos em vez de distribuições probabilísticas. Além disso, facilitaram a visualização do funcionamento dos sistemas, viabilizando uma melhor percepção, para gestores da empresa, de como os modelos propostos funcionariam em uma situação real, facilitando a aprovação das mudanças.

Por fim, o trabalho procurou contribuir para construção de um elo entre a abordagem do projeto de *layout* e do processo de pensamento dos indicadores da TOC por meio da utilização da simulação de eventos discretos. Assim os indicadores operacionais da TOC se mostraram eficazes em avaliar qual entre os dois *layouts* propostos oferece maior vantagem competitiva à empresa. Os indicadores operacionais da TOC demonstraram ser versáteis podendo ser aplicados em qualquer sistema produtivo no apoio a decisão de forma empírica, sem a perda no foco da meta da empresa, o lucro. Também deu a garantia do ótimo global, e não

apenas do ótimo local, que segundo a TOC, é o que deve ser buscado, verificando que qualquer despesa operacional somente seja feita caso não comprometa o ganho, ou caso a despesa operacional seja superior ao ganho reduzido pela mudança.

## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, J. A.; ALVAREZ, R.; BOTOLOTTO, P.; KLIPPEL, M.; PELLEGRIN, I. **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- ALVAREZ, Roberto dos Reis; ANTUNES, José Antonio Valle. **Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção**. 2001. Disponível em: <[http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/383\\_alvarezAntunes\\_takt\\_time.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/383_alvarezAntunes_takt_time.pdf)> Acesso em: 2 set. 2016.
- ARAÚJO, R. M. **Modelo de simulação para avaliação do fluxo de transporte rodoviário de sondas de perfuração terrestre de poços de petróleo**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – UFSC, Florianópolis, 5 nov. 2002.
- ASSUNPÇÃO, Lucas E.; **Gestão no posto de trabalho: aplicação no processo produtivo de uma empresa de condimentos**. In: MOSTRA DE ENSINO, EXTENSÃO E PESQUISA DA UNIVATES, 17., 2015, Lajeado. Anais da XVII Mostra de Ensino, Extensão e Pesquisa (MEEP). Lajeado: Univates, 2015. p. 109.
- BAINES, T.; MASON, S.; SIEBERS, P. O.; LADBROOK, J. **Humans: the missing link in manufacturing simulation? Simulation Modelling Practice and Theory**. V. 12, n. 7, p. 515-526, 2004. Disponível em: Acesso em: 17 mai. 2016.
- BARNES, Ralph Mosser. **Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida do Trabalho**. 6ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1977.
- BATEMAN, R.; BOWDEN, R.; GOGG, T.; HARREL, C.; MOTT, J.; MONTEVECHI, J. A. B. **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- BANKS, J. **Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice**. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.
- BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- BLACKSTONE, J. H. **Theory of Constraints: a status report**. International Journal Production Research. V. 39, n. 6, p. 1053-1080, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540010028119?journalCode=tpsr20#.VzfOwPkrLIU>> Acesso em: 14 mai. 2016.

BRITO, Eliseu Silveira. **Aplicativo para Modelamento 3D de Layout Celular Com Base em Tecnologia de Grupo**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFRGS, Porto Alegre, 15 dez. 2010.

BURBIDGE, John Leonard. **The Introduction of Group Technology**. London: Heinemann, 1975.

BURBIDGE, John Leonard. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 1981.

CALDAS, Marco Antônio de Farah; SACRAMENTO, Karina Thiebaut. **Simulation model of discret events applied to the planning and operation of a toll plaza**. Journal of Transport Literature. V. 10, n. 3, p. 8, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2238-10312016000300040&lng=en&nrm=iso&tIng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312016000300040&lng=en&nrm=iso&tIng=en)> Acesso em: 12 mai. 2016.

CARVALHO, José Mexia Crespo de. **Logística**. 3ª ed. Lisboa: Edições Silabo, 2002.

CHASE, Richard B.; JACOBS, Robert F.; AQUILANO, Nicholas T. **Administração da Produção Para a Vantagem Competitiva**. 10ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHWIF, Leonardo. MEDINA, Afonso C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 3ª ed. São Paulo: Edição do Autor, 2010.

CLÍMACO, Rogério Ribeiro. **Tecnologia de grupo e manufatura celular aplicadas ao projeto de leiaute industrial para pequenas e médias empresas**: simplificação do fluxo de produção de uma empresa metal mecânica. XXIII Encontro Nacional de Engenharia De Produção, Ouro Preto, Minas Gerais, 2003. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003\\_tr0105\\_0345.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0105_0345.pdf)> Acesso em: 04 jun. 2016.

COELHO, Antônio Sérgio; BRANCO, Rogério Malta; RODRIGUES, Gislene Salim. **Aprimoramento da produtividade de sistemas de manufatura e aplicação de algoritmos genéticos na solução de problemas de agrupamentos celulares**. Revista Produção Online, v. 6, n. 3, p. 116, 2006. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/637/675>> Acesso em: 4 jun. 2016.

CORBETT NETO, T. **Contabilidade de ganhos**: a nova contabilidade gerencial de acordo com a teoria das restrições. São Paulo: Nobel, 1997.

CORRÊA, Aliel Freitas. **Modelagem de um Sistema de Gestão da Pecuária Leiteira Sob os Preceitos da Teoria das Restrições**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – UFRGS, Porto Alegre, jun. 2003.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e de Operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.

COX, J.F.; SPENCER, M. S. **Manual da teoria das restrições**. São Paulo: Bookman, 2002.

DELON, Gerald L. **A methodology for total hospital design**: Health Services Research, v. 5, n. 3, p. 210, 1970. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1067497/pdf/hsresearch00576-0044.pdf>> Acesso em: 07 set. 2016.

DINIS-CARVALHO, J.; ALVES, A.C.; SOUSA, R.M. **Moving From Job-Shop to Production Cells Without Losing Flexibility**: A case study from the wooden frames industry. South African Journal of Industrial Engineering [online]. Pretoria, v. 25, n. 3, p. 212-225, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-78902014000300018&lang=pt](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-78902014000300018&lang=pt)> Acesso em: 28 mar. 2016.

ELMARAGHY, H. A.; GU, P. **Feature Based Expert Parts Assignment In Celular Manufacturing**. Journal of Manufacturing Systems. V. 8, n. 2, p. 139-152, 1989. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0278612589900320>> Acesso em: 13 mai. 2016.

FILHO, Paulo José de Freitas. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: Com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books Ltda, 2001.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

GANGA, Gilberto Miller Devós. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GROOVER, M. P. **Automation, Production System and Computer-integrated Manufacturing**. 2º ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.

GOLDRATT, E. M. **A Síndrome do Palheiro: Garimpando Informações Num Oceano de Dados**. São Paulo: Educator, 1996.

GOLDRATT, E. M. **Standing on the Shoulders of Giants: Production concepts versus production applications The Hitachi Tool Engineering example**. Gestão & Produção. V. 16, n. 3, p. 333-343, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2009000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2009000300002&script=sci_arttext)> Acesso em: 14 mai. 2016.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. F. **A meta: Um Processo de Melhoria Contínua**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 2002.

GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. **A Corrida Pela Vantagem Competitiva**. São Paulo: Educator, 1989.

GÓMEZ, Rodrigo Andrés. HERNANDEZ, José Daniel. CORREA ESPINAL, Alexander. **Análisis de un sistema de producción de cárnicos utilizando simulación discreta**. Espacios. V. 37, n. 1, p. 12, 2016. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a16v37n01/16370113.html>> Acesso em: 12 mai. 2016.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2 ed. São Paulo: IMAM, 2002.

HELENO, André Luís; MORAES, Aroldo Isaías José de; FERRO, Rodrigo; OLIVEIRA, Maria Célia de; SIMON, Alexandre Tadeu. **Análise da Integração das Ferramentas de Simulação e Mapeamento do Fluxo de Valor na Otimização de Operações de Manufatura**. Espacios. V. 35, n. 4, p. 11, 2014. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a14v35n04/14350411.html>> Acesso em: 12 mai. 2016.

HERROELEN, W.; LEUS, R. **On the merits and pitfalls of critical chain scheduling**. Journal Operations Management. V. 19, p. 559-577, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696301000547>> Acesso em: 14 mai. 2016.

IRIZARRY, M. L.; WILSON, J. R.; TREVINO, J. **A Flexible Simulation Tool for Manufacturing Cell Design: Model Structure, Operation And Case Study**. IIE Transactions. V. 33, n. 10, p. 827-836, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07408170108936876#.VzXMOYQrLIU>> Acesso em: 7 mai. 2016

KAHMANN, Alessandro; KLEOCKNER, Ana Paula; ZOCCHÉ, Lidiana; CASSEL, Ricardo Augusto. **Teoria das Restrições e Gestão de Projetos – Corrente Crítica: Uma Revisão Sistemática de**

Literatura. Espacios. V. 35, n. 13, p. 3, 2014. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a14v35n13/14351303.html>> Acesso em: 15 mai. 2016.

KHAN, Amir J.; TIDKE, D. J. **Designing facilities layout for small and medium enterprises**. International journal of Engineering research and General science Volume1, n. 2, 2013. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.407.7885&rep=rep1&type=pdf>> Acessado em: 08 set. 2016.

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry. **Operations Management: Strategy and analysis**. 6ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry; MALHOTRA, Manoj. **Administração de Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009

LAUGENI, Fernando P.; MARTINS, Petrônio Garcia. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

LAW, A. M. **How to Build Valid And Credible Simulation Models**. Monterey: Winter Simulation Conference, 2005.

LAW, A. M.; KELTON, W. David. **Simulation Modeling And Analysis**. 2ª ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LI, J.W. **Investigating the efficacy of exercising JIT practices to support pull production control in a job shop environment**. Journal of Manufacturing Technology Management, v. 16, n. 7, p. 765–783, 2005. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/17410380510626187>> Acesso em: 8 mai. 2016.

LU, M.; WHONG, L. **Comparison of two simulation methodologies in modeling Construction systems: Manufacturing-oriented PROMODEL vs. Construction Oriented SDESA**. Automation in Construction. v. 16, n. 1, p. 86-95, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580505001767>> Acesso em: 7 mai. 2016.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick; FLEURY, Afonso; MELLO, Carlos Henrique Pereira; NAKANO, Davi Noboru; LIMA, Edson Pinheiro; TURRIONI, João Batista; HO, Linda Lee; MORABITO, Reinaldo; MARTINS, Roberto Antonio; SOUSA, Rui; COSTA, Sérgio E. Gouvêa; PUREZA, Vitória. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MOELLMANN, A. H.; ALBUQUERQUE, A. S.; CONTADOR, J. L.; MARINS, F. A. S. (2006) **Aplicação da teoria das restrições e do indicador de eficiência global do equipamento para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação**. Gestão Industrial. V. 02, n. 01, p. 89-105, 2006. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/revista/revista2006/pdf/RGIv02n01a9.pdf>> Acesso em: 14 mai. 2016.

MOLLEMAN, E.; SLOMP, J.; ROLEFES, S. **The Evolution of a Cellular Manufacturing System: a longitudinal case study**. International Journal of Production Economics, v. 7, n. 3, p. 305-322, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527301001396>> Acesso em: 16 abr. 2016.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações**. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MULUGETA, Ameha; BESHAN, Birhanu; KITAW, Daniel. **Computerized Facilities Layout Design**. Zede Journal, v. 30, p. 27-32, 2013. Disponível em: <<http://www.ajol.info/index.php/zj/article/download/104347/94430>> Acesso em: 08 set. 2016.

MUTHER, R.; WHEELER, J. D. **Planejamento Sistemático e Simplificado de Layout**. São Paulo: IMAM, 2000.

NEUMANN, Clóvis; SCALICE, Régis. **Projeto de Fábricas e Layout**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre. **Administração da Produção**: Operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007

PEREIRA, Wilson Inacio; CHWIF, Leonardo. **Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos**: aplicação em um caso real. Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, SP, 2010. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010\\_tn\\_sto\\_118\\_772\\_16587.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_118_772_16587.pdf)> Acesso em: 10 mai. 2016.

PINHO, A., LEAL, F., MONTEVECHI, J., MARTINS, F., MAPA, S., & RIBEIRO, M. **Aumento de Produtividade em uma Linha de Montagem de Chassis Automotivos Através da Simulação Computacional**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 26, 2006. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006\\_tr460314\\_7250.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr460314_7250.pdf)> Acesso em: 27 out. 2016.

PROMODEL 2011 USER GUIDE. Promodel Corporations, 2011. Disponível em: <[https://estadisticaccbas.uaa.mx/moodle/file.php/1/ProModel\\_User\\_Guide.pdf](https://estadisticaccbas.uaa.mx/moodle/file.php/1/ProModel_User_Guide.pdf)> Acesso em: 13 mai. 2016.

SANTOS, Luciano Costa; GOHR, Cláudia Fabiana; URIO, Luis César Siqueira. **Planejamento sistemático de layout em pequenas empresas**: uma aplicação em uma fábrica de baterias automotivas. Espacios, v. 35, n. 7, p. 14, 2014. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a14v35n07/14350714.html>> Acesso em: 07 abr. 2016.

REID, R. A.; CORMIER, J. R. (2003). **Applying the Theory of Constraints Thinking Process**: a case study in service sector. Managing Service Quality. V. 13, n. 5, p. 349-369, 2003. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/09604520310495831>> Acesso em: 14 mai. 2016.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

RODRIGUES, Luis Henrique. **Apresentação e análise crítica da tecnologia da produção otimizada (Optimized Production Technology-OPT) e da Teoria das Restrições (Theory of Constraints-TOC)**. Anais do XIV Encontro Anual da ANPAD. Belo Horizonte, 1990.

SANTOS, Newton Ribeiro dos; ARAÚJO JÚNIOR, Lindolpho Oliveira de. **Sistema de tecnologia de grupo**: um estudo de caso através de análise do fluxo da produção. Production. V. 9, n. 1, p. 65-82, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v9n1/v9n1a07.pdf>> Acesso em: 4 jun. 2016.

SARGENT, R. G. **Validation And Verification of Simulation Models**. Phoenix: Winter Simulation Conference, 1999.

SELIM, Hassan M.; ASKIN, Ronald G.; VAKHARIA, Asoo J. **Cell Formation In Group Techonology**: Review, Evaluation And Directions For Future Research. Computers & Industrial Engennering. V. 34, n. 1, p. 3-20, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835297001472>> Acesso em: 13 mai. 2016.

SHERIDAN, J. H. **Dell Computer's Server Plant Emphasizes Velocity and Flexibility**: While Balancing Supply and Demand. *Industry Week*, 1999. Disponível em: <[http://www.industryweek.com/articles/iw\\_best\\_plants\\_profile\\_\\_1999\\_9894.aspx](http://www.industryweek.com/articles/iw_best_plants_profile__1999_9894.aspx)> Acesso em: 4 abr. 2016.



SILVA, Jonhatan Magno Norte da; Elamara Marama de Araújo; TORRES, Manoel Gerênimo Lino; COSTA, Ana Nery de Matos; SANTOS, Luciano Costa. **Planejamento Sistemático do Layout:** aplicação em uma indústria de painéis esmaltados. *Espacios*, v. 36, n. 9, p. 17, 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n09/15360917.html>> Acesso em: 12 abr. 2016.

SILVA, Alessandro Lucas da; RENTES, Antônio Freitas. **Um Modelo de Projeto de Layout Para Ambientes Job Shop com Alta Variedade de Peças Baseado nos Conceitos da Produção Enxuta.** v. 19, n. 3, p. 531-541, 2012. Disponível em: <<http://bdpife4.sibi.usp.br/handle/BDPI/39527>> Acesso em: 31 out. 2016

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES, João Pedro Marcante; LEMOS, Fernando de Oliveira; ARAÚJO, César Luciano Klanovicz; HANSEN, Peter Bent. **A contribuição da simulação computacional para a análise sistêmica da reestruturação de layout e otimização de recursos na manufatura celular:** estudo de caso em uma célula de uma empresa do ramo automotivo. *Produto & Produção*. V. 12, n. 3, p. 49-68, 2011. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ProdutoProducao/article/view/22802/13963>> Acesso em: 10 mai. 2016.

TOLLINGTON, Tony. **ABC vs. TOC:** Same Cloth as Absorption vs. Marginal, Different Style and Cut. *Managemet Accounting*. V. 76, n. 4, p. 44, 1998.

TUBINO, D.F. **Sistemas de Produção:** a produtividade no chão-de-fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.

URBAN, T. L. **Combining Qualitative and Quantitative Analyses in Facility Layout.** *Production and Inventory Management Journal*, n. 3/4, p. 73, 1989. Disponível em: <<http://crawl.prod.proquest.com.s3.amazonaws.com/fpcache/11d7cada033e3b563cc4ceb0d3c9c997.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJF7V7KNV2KKY2NUQ&Expires=1461356279&Signature=nEM57m0w0mtQZ8gh7SVQbjOfnCQ%3D>> Acesso em: 05 mai. 2016.

VERGARA, G. L. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração.** 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.

VOLLMANN, T. E., BERRY, W. L., WHYBARK, D. C., JACOBS, F. R. **Sistemas de planejamento & controle da produção para o gerenciamento da cadeia de suprimentos.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

WAINER, Gabriel A. **Discrete-Event Modeling and Simulation: A Practitioner's Approach.** Boca Raton: CRC Press, 2009.

WEMMERLÖV, U.; JOHNSON, D. J. **Cellular Manufacturing at 46 User Plants:** Implementation Experiences And Performance Improvements. *International Journal of Production Research*. V. 27, n. 9, p. 1511-1530, 1997. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/002075497195966#.VzXKnIQRLIU>> Acesso em: 10 mai. 2016

WHITE, K. P.; INGALLS, R. G. **Introduction to Simulation.** Winter Simulation Conference. Austin, TX, USA p. 12-23, 2009. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1995460>> Acesso em: 10 mai. 2016.

WONG, C.; ORTIZ, M.; TORCASIO, A.; RODRIGUEZ, E.; COLLADO, M. **Estrategias para el mejoramiento de la gestión de mantenimiento usando la teoría de restricciones.** *Espacios*, V. 30, n. 2, p. 22, 2009. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a09v30n02/09300260.html>> Acesso em: 14 mai. 2016.

XAVIER, Amanda Fernandes. GOMES, José Henrique Freitas. DELALIBERA, Pedro Henrique Athanasio. MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. PINHO, Alexandre Ferreira. **A simulação a eventos discretos como ferramenta de tomada de decisão na implementação de uma linha de montagem em uma indústria do setor automobilístico.** Revista Inovação, Gestão e Produção. V. 2, n. 5, 2010.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e método.** 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.